Mineralogische Untersuchungen an Sedimenten des Steinmergelkeupers und der Roten Wand aus der Umgebung von Göttingen

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg August-Universität zu Göttingen

Vorgelegt von
Wolfram Echle
aus Karlsruhe

Göttingen 1960

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

D 7

Referent: Prof. Dr. C. W. Correns

Korreferent: Prof. Dr. E. Bederke

Tag der mündlichen Prüfung: 25. November 1960

Sonderdruck aus
„Beiträge zur Mineralogie und Petrographie"
Bd. 8, 1961

Beiträge zur Mineralogie und Petrographie 8, 28—59 (1961)

Aus dem Sedimentpetrographischen Institut der Universität Göttingen

Mineralogische Untersuchungen an Sedimenten des Steinmergelkeupers und der Roten Wand aus der Umgebung von Göttingen

Von

Wolfram Echle

Mit 5 Textabbildungen

(Eingegangen am 21. Dezember 1960)

5211
/61

Inhaltsübersicht

Seite

I. Einleitung 28
II. Geologische Übersicht 28
III. Probennahme und Beschreibung der Proben 29
IV. Aufbereitung 31
V. Schlämmanalyse und Korngrößenverteilung 33
VI. Untersuchungsmethoden 35
VII. Mineralbestand 35
VIII. Chemische Untersuchungen 47
IX. Diskussion 51
Zusammenfassung 56
Literatur 58

I. Einleitung

Diese Arbeit setzt die Reihe der im letzten Jahrzehnt im Göttinger mineralogischen Institut durchgeführten sedimentpetrographischen Untersuchungen von Gesteinen der engeren und weiteren Umgebung Göttingens mit einem Beitrag über den mittleren Keuper fort.

II. Geologische Übersicht

Man nimmt an, daß die Sedimente des mittleren Keupers im germanischen Becken während einer Zeit mit wechselnden kontinental-ariden und -fluviatilen und vielleicht auch marinen Sedimentationsbedingungen abgelagert wurden. Bunte Mergel wechsellagern mit Gipsschichten oder Sandsteinen oder Steinmergelbänken.

Tabelle 1. *Einteilung des mittleren Keupers (Gipskeuper) bei Göttingen.* (Nach Tornquist 1892)

C. Obere Abteilung: Steinmergelkeuper	200—250 m
9. oberste dolomitische, helle Steinmergel, sehr schwankend	
8. oberer Burgsandstein	35 m
b) rote Sandsteinbänke	13 m
a) rote Mergel mit grauem dolomitischem Arkosesandstein	20 m
7. Stufe der oberen bunten Mergel = Heldburgstufe	150 m
c) obere graue Mergel	18 m
b) oberer Semionotussandstein, Steinmergel mit Corbula usw.	17 m
a) untere Heldburgstufe mit dem Heldburggipshorizont	100 m
6. Äquivalente des Coburger Bausandsteins (?)	20 m (?)
B. Mittlere Abteilung: Schilfsandstein und rote Wand	40—60 m
5. rote Mergel mit festen Dolomitbänken (Horizont Beaumont)	35 m
4. Schilfsandstein	2—20 m
A. Untere Abteilung: Unterer Gipskeuper (Salzkeuper)	180 m

Eine detaillierte stratigraphische Gliederung des mittleren Keupers für die Umgebung Göttingens wurde 1892 von TORNQUIST[44] gegeben (Tabelle 1).

Die Mächtigkeit der Sedimente ist bedeutend. Die tertiäre Einsenkung des Leinetalgrabens bewahrte sie vor der Abtragung. Größere Aufschlüsse sind allerdings selten.

Die folgenden Untersuchungen wurden an Sedimenten der oberen Abteilung des mittleren Keupers, des sog. Steinmergelkeupers (Tabelle 1, C 7—9), und an Ablagerungen durchgeführt, die zur „roten Wand" zu zählen sind (Tabelle 1, B 5).

III. Probennahme und Beschreibung der Proben

Größere Profile im Steinmergelkeuper und der roten Wand waren im Gebiet Friedland—Elkershausen—Marzhausen—Reckershausen, etwa 15 km südlich Göttingen aufgeschlossen (Abb. 1). Andere Vorkommen bei und nördlich Göttingen beschränken sich auf kleine Wegeeinschnitte (z. B. Straße Bovenden-Parensen am Waldrand, Blatt Nörten; Einzelberg bei Großschneen, Blatt Reinhausen), alte, verwachsene Mergelgruben (z. B. Osthang des Hundeberges bei Buensen, Blatt Moringen) und größere Lesesteine (z. B. Westhang des Wienberges bei Moringen).

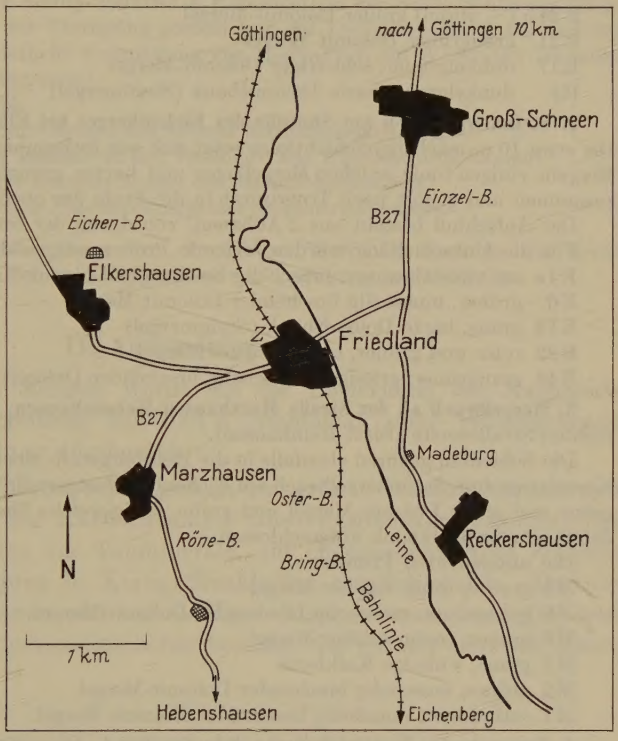


Abb. 1. Übersichtsskizze des Aufschlußgebietes

Im Dezember 1959 konnten auch im Stadtgebiet Göttingens einige Proben gesammelt werden, die durch Schachtarbeiten in der Gutenbergstraße zugänglich wurden.

Aus dem Gebiet der bearbeiteten Übertageaufschlüsse stand leider kein Material aus Tiefbohrungen zur Verfügung. Nur aus Gebieten weit nördlich Göttingen konnten Bohrproben in die Untersuchung einbezogen werden.

Von folgenden Aufschlüssen wurden von 1957—1959 Proben gesammelt und untersucht:

1. Einschnitt an der Straße Reckershausen-Großschneen, NW Reckershausen, Blatt Reinhausen, etwa 700 m vor dem Ortseingang Reckershausen, an der östlichen Straßenseite = Horizont der dolomitischen Arkosesandsteine bis an die Grenze zur oberen Heldburgstufe = unterer oberer Burgsandstein. Der Aufschluß entspricht ungefähr dem von TORNQUIST[44] angegebenen Profil vom „Wegeaufschluß an der Madeburg bei Friedland".

Das 7 m mächtig aufgeschlossene Profil besteht vorwiegend aus hellgrauen, blaugrauen und dunkelgrauen, zum Teil schiefrigen Dolomit-Mergeln* neben harten, grauen Dolomitbänken und violettbraunen, rotbraunen und grünen Mergellagen. Die Schichten werden vertikal von Kalkspatadern durchsetzt.

Die bunten Dolomit-Mergel zerfallen bei Wassereinwirkung und mechanischer Beanspruchung in mm- bis cm-große, scharfkantige Stücke mit muscheligem Bruch, die schiefrig ausgebildeten Dolomit-Mergel in kleine weiche Splitter. Die harten Steinmergelbänke treten daher im Profil besonders deutlich hervor. Innerhalb der bunten Dolomit-Mergel wird eine Schichtung nur durch den plötzlichen oder auch allmählichen Farbübergang z. B. von rotbraun nach graugrün angedeutet. Das gleiche gilt auch für die anderen Aufschlüsse.

Fast alle in dieser Arbeit untersuchten Proben sind äußerst feinkörnig. Nur in den Proben M5 (Marzhausen) und E46 (Elkershausen) konnten schon mit der Lupe einige größere Mineralkörner festgestellt werden.

Folgende Proben wurden untersucht:
R30 dunkelgraue, harte Dolomitbank (Steinmergel)
R26 hellgrüner, tonig-weicher Mergel
R24u (= unten) grauer Dolomit-Mergel
R21 graugrüner Dolomit-Mergel
R17 dunkelgrauer, schiefriger Dolomit-Mergel
R8 dunkelgraue, harte Dolomitbank (Steinmergel)

2. Steinmergelbruch am Südfuße des Eichenberges bei Elkershausen (Blatt Reinhausen). Die etwa 10 m mächtige Schichtfolge setzt sich aus rotbraunen, grünen und grauen Dolomit-Mergeln, einigen tonig-weichen Mergellagen und harten grauen Dolomitbänken (Steinmergel) zusammen und gehört nach TORNQUIST in die Stufe der oberen bunten Mergel.

Der Aufschluß besteht aus 2 Abbauen, von denen der östliche etwas tiefer angelegt ist.
Für die Untersuchung wurden folgende Proben ausgewählt:
E4a rot-violettbrauner, muschelig brechender Dolomit-Mergel
E6 grüner, muschelig brechender Dolomit-Mergel
E13 graue, harte Dolomitbank (Steinmergel)
E22 roter und grüner, tonig-weicher Mergel
E46 graugrüner, griesiger, muschelig brechender Dolomit-Mergel

3. Mergelbruch an der Straße Marzhausen-Hebenshausen, 1 km SSE Marzhausen auf der rechten Straßenseite (Blatt Reinhausen).

Die Schichten gehören ebenfalls in die Heldburgstufe, doch konnte keine stratigraphische Korrelation zum Steinmergelbruch am Eichenberg festgestellt werden. Es sind 8 m rotbraune, grüne und graue Dolomit-Mergel und graue, tonig-weiche Mergel mit einer wulstig ausgebildeten, grauen Kalkbank aufgeschlossen.

Die untersuchten Proben:
M9 grauer, tonig-weicher Mergel
M8 graugrüner, muschelig brechender Dolomit-Mergel
M6 grauer, tonig-weicher Mergel
M5 graue, wulstige Kalkbank
M2 grüner, muschelig brechender Dolomit-Mergel
M1 rotbrauner, muschelig brechender Dolomit-Mergel

4. Tongrube der Ziegelei Baumbach in Friedland. Diese Serie von roten und grünen tonig-weichen Mergeln und harten rotbraunen Dolomit-Mergeln gehört zur Stufe der „roten Wand".

Einige Proben wurden schon von JASMUND[26] untersucht.

Nach technischen Eigenschaften werden in der Tongrube von den Arbeitern 3 Arten von weichen roten Mergeln unterschieden:
a) der sog. schwere Ton (dunkelrotbraun, mit harten Mergelstücken);
b) der sog. leichte Ton (ziegelrot);
c) der sog. fette Ton (dunkelrot, an der Nordecke).

* Die Bezeichnung „Dolomit-Mergel" bezieht sich nicht auf den CO_2-Gehalt der Probe, sondern gibt nur Auskunft über das vorliegende Karbonat. In Proben, die nur als „Mergel" bezeichnet werden, besteht das Karbonat aus Dolomit und Calcit. Nach dem CO_2-Gehalt variieren die untersuchten Proben zwischen mergeligem Ton und Mergel (s. CO_2-Analysen, Tabelle 10).

Mit diesen roten, weichen Mergeln wechsellagern, im Abstand von ungefähr 30 cm, die grünen, recht weichen Mergelbänkchen.

Die Abbauwand der Grube wird von Verwerfungen durchschnitten (Leinetalgraben-Randverwerfung).

Es wurden untersucht:

F1 „schwerer Ton", dunkelrotbraun, Basis der Grubenwand, 15 m von der Südecke

F4 „leichter Ton", ziegelrot

F5 hellroter, tonig-weicher Mergel, in Nestern zwischen grünen und dunkelroten Lagen

F6 „fetter Ton" an der Nordecke der Grube, 4 m unter der Grasnarbe

F7 grüner, tonig-weicher Mergel, Nordecke, Zwischenbänke in F6, mit weißen Nestern von Quarz.

Neben diesen Übertageproben standen folgende Bohrproben zur Verfügung:

5. Von der Wintershall AG Proben aus der **Bohrung Bielefeld 1** (90—91 m). Davon wurden untersucht:

Bi1a rotbrauner, recht harter Dolomit-Mergel des Steinmergelkeupers

Bi1b dunkelgrauer, bröckliger Dolomit-Mergel des Steinmergelkeupers.

6. Proben aus der **Bohrung Sterup-Steinfeld Z 1,** nordöstlich der Stadt Schleswig (Meßtischblatt Süderbrarup 1324), zur Verfügung gestellt von der Deutschen Erdöl AG und der Wintershall AG durch die freundliche Vermittlung von Herrn Prof. Dr. W. Schott (Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover).

Untersucht wurde die Probe

SS 1724 dunkelgrauer Dolomit-Mergel des tieferen Steinmergelkeupers.

7. Proben aus der **Bohrung Eddesse 22** der Preußag. Zur Untersuchung kamen:

E 909 stahlgrauer, splittriger Dolomit-Mergel des Steinmergelkeupers

E 944 dunkelgrauer, splittriger Dolomit-Mergel des Steinmergelkeupers.

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Hecht, Herrn Dr. Kehrer und Herrn Dr. Breyer, die diese Bohrproben großzügigerweise zur Verfügung gestellt haben.

IV. Aufbereitung

Bei den tonig-weichen Mergeln wurde auf die Entfernung des Karbonats verzichtet und die Aufbereitung mit 0,01 n Ammoniak ohne vorhergehende andere chemische Behandlung durchgeführt.

Bei den zum Teil recht harten roten, grauen und grünen Dolomit-Mergeln und grauen Dolomiten mußte der Karbonatanteil unter möglichster Schonung der anderen Minerale, besonders der Tonminerale, auf chemischem Wege entfernt werden, damit eine Trennung in Korngrößenklassen möglich wurde. Deshalb wurde mit verdünnten Säuren und bei niedrigen Temperaturen gearbeitet und neben den Säuren ein Kationenaustauscher benutzt, der ein nur schwach saures p_H gewährleistete.

Es wurden verwendet:

4 molare Essigsäure,	0,5 normale Salzsäure und
4%ige Monochloressigsäure,	Kationenaustauscher Amberlite IRC 50.

Einige Proben wurden in Parallelversuchen mit verschiedenen Säuren und dem Kationenaustauscher behandelt.

Alle Proben wurden zunächst in mm- bis cm-große Stücke vorgebrochen. Ein stärkeres mechanisches Zerkleinern wurde vermieden, um eventuell vorhandene größere Mineralkörner zu schonen.

1. Aufbereitung mit Säuren. Die mechanisch zerkleinerte Probe (15—30 g) wurde im Becherglas mit ungefähr 500 ml der jeweiligen Säure angesetzt. Das Ausgangs-p_H lag bei Essigsäure und Monochloressigsäure etwa bei 2, bei Salzsäure etwas tiefer (1—2).

Die Verwendung von *Monochloressigsäure* wird von BECKMANN (in H. FREUND: Handbuch der Mikroskopie in der Technik[2]) in Zusammenhang mit der Gewinnung von essigsäureresistenten Fossilien vorgeschlagen: „Die als festes Salz erhältliche technische Säure wird mit der Probe und Wasser angesetzt und löst den Kalk unter Schonung aller in Phosphat, Silicium- oder Eisenverbindungen erhaltenen Substanzen. Die in der Literatur hierfür empfohlene Essigsäure ist dafür ungeeignet, da sie gering dissoziiert, mit Kalk und Ca-Azetat eine schwerlösliche Komplexverbindung eingeht und wegen der schlechten Löslichkeit des Ca-Salzes nur in Verdünnung von 7—10% angewandt werden kann ... Bei der Verwendung von Monochloressigsäure läßt sich dagegen nach BECKMANN[1] die Probe gleich mit der entsprechenden Menge Säure ansetzen."

Bei den mit *Essigsäure* behandelten Proben mußte die Säure 2—3mal erneuert werden. Monochloressigsäure und *Salzsäure* brauchten meist nur einmal zugegeben zu werden.

Nach 14 Tagen (Monochloressigsäure) bis 3 Wochen (Salzsäure und Essigsäure) war die CO_2-Entwicklung beendet. Die Rückstände wurden auf einem Ultrafiltrationsgerät durch Membranfilter (mittel) säurefrei filtriert. Das Filtrat aller mit Säuren behandelten Proben blieb klar und farblos. Es wurde verworfen und nicht chemisch untersucht. Das Säureunlösliche bestand aus feinem tonigem Material mit vielen bis mm-großen Körnern. Durch nasses Reiben mit dem Finger ließen sich die Proben noch weiter zerkleinern, aber auch nach 4stündigem intensivem Reiben blieben noch viele 20—200 $\mu\varnothing$ große Aggregate zurück. Der säurefreie Rückstand wurde mit 0,01 n NH_4OH aufgenommen und in Kunststoff-Flaschen 200—300 Std in einer rotierenden Schüttelapparatur geschüttelt.

2. Aufbereitung mit Kationenaustauscher Amberlite IRC 50. Zur Entfernung des Karbonatanteils wurden einige Proben mit einem Kationenaustauscher behandelt. Verwendet wurde Amberlite IRC 50 mit Wasserstoff als austauschbarem Kation. Dieser Austauscher gehört durch die wirksame Carboxylgruppe RCOOH zum schwach sauren Typ seiner Art. Die Dissoziation der Carboxylgruppen wird vom p_H-Wert, bzw. der H-Ionenkonzentration der äußeren Lösung bestimmt. Die Austauschfähigkeit in stark saurer Lösung ist gering, steigt aber mit dem p_H an (SAMUELSON[39]). Außerdem nimmt die Dissoziation, unabhängig vom CO_2-Gehalt, beim Erhitzen zu. Lösungsversuche an reinem $CaCO_3$ mit Amberlite IRC 50 bestätigten diese Temperaturabhängigkeit der Austauschfähigkeit.

Das Löslichkeitsprodukt von Calcit in reinem Wasser beträgt $[Ca^{2+}]\,[CO_3^{2-}] \sim 10^{-8}$, das von Dolomit liegt darunter.

Ein Angebot von H-Ionen (Amberlite) stört das Dissoziationsgleichgewicht des Calcits gleichzeitig zweifach:

a) CO_3-Ionen werden zu HCO_3-Ionen verbraucht;

b) gleichzeitig werden Ca-Ionen vom Austauscher aufgenommen.

Es wird weiterer Calcit in Lösung gehen, bis schließlich das gesamte Karbonat gelöst oder die Kapazität des Austauschers erschöpft ist.

RAY, GAULT u. DODD[37] arbeiteten bei ihren Versuchen mit Temperaturen von 70—85° C. Um aber die Tonminerale nicht unnötig höheren Temperaturen auszusetzen, wurde die Aufbereitung der eigenen Proben bei Zimmertemperatur (~20° C) und p_H 5—6 der äußeren Lösung durchgeführt. Der Lösungsvorgang des Karbonats nahm dadurch längere Zeit in Anspruch.

Die vorgebrochenen Proben wurden zum Austauscher gegeben (etwa 20 g Probe auf 500 g Amberlite), dessen Korngröße zwischen 300 und 1000 $\mu\varnothing$ (50—20 mesh) lag. Bei p_H 5—6 und Zimmertemperatur wurde in einem 2 Liter-Becherglas reichlich Wasser zugegeben und das Gemenge mit einem elektrischen Rührwerk dauernd in Bewegung gehalten. Nach einiger Zeit, die bei den einzelnen Proben verschieden war (10—60 Std), wurde die überstehende Suspension durch ein 200 $\mu\varnothing$-Sieb dekantiert, der Austauscher sorgfältig vom noch nicht aufbereiteten Rest der Probe getrennt und mit 10%iger Salzsäure regeneriert. Die überschüssige Säure wurde mit destilliertem Wasser ausgewaschen und der Aufbereitungsprozeß fortgesetzt. Die jeweils abdekantierte Suspension wurde nicht weiter behandelt.

Auf diese Weise wurden 4 Proben aufbereitet. Die Einwirkung des Austauschers dauerte, bei ungefähr gleicher Einwaage, 2—3 (M5 und E13), ~12 (E4a) bzw. ~20 Tage (R17). Die Zeiten für M5 und E13 entsprechen aber nicht vollständiger Aufbereitung. In beiden Proben blieben noch beträchtliche Mengen von Gesteinsstücken > 200 $\mu\varnothing$ zurück (s. Korngrößenverteilung).

Ray, Gault u. Dodd[37] und Lloyd[34] (IRC 120, H^+-Form) geben für ihre Versuche viel kürzere Zeiten an. Der Grund und Unterschied liegt wohl darin, daß Ray u. Mitarb. mit künstlichen Mischungen von Kalk, Dolomit, Quarz und Ton, also nicht verkitteten, feinkörnigen Einzelmineralen und bei bedeutend höheren Temperaturen arbeiteten und Lloyd sehr weiche Kreidekalke benutzte.

3. Aufbereitung mit Ammoniak. Die tonig-weichen Mergel wurden ohne Entfernung des Karbonats nach der Normalmethode von Oden in 0,01 n NH_4OH zunächst aufgeweicht, mit einem harten Pinsel zerdrückt, mit dem Finger zerrieben und in Polyäthylenflaschen 200 bis 300 Std in einer rotierenden Schüttelmaschine geschüttelt.

Es folgt eine Zusammenstellung der mit den einzelnen Aufbereitungsmitteln behandelten Proben. Die großen Buchstaben hinter der Probe bedeuten: E = Essigsäure; M = Monochloressigsäure; S = Salzsäure; A = Austauscher. Alle später erwähnten Fraktionen, Mineralbestände, Korngrößenverteilungen usw. von Proben mit einem dieser Buchstaben als Zusatz beziehen sich auf den säureunlöslichen, karbonatfreien Anteil.

Die Proben ohne zusätzliche Signatur wurden mit Ammoniak aufbereitet.

CH_3COOH	$CH_2ClCOOH$	HCl	IRC 50	NH_4OH
M1E	Bi1a*M	R21S	R17A	R26
M2E	Bi1b*M	E13S	E4aA	E22
M5E	SS1724M	E46S	E13A	M6
M8E	E909M	M1S	M5A	M9
E13E	E944M			F1
	R8M			F4
	R24uM			F5
	R30M			F6
	E6M			F7

* Verschieden gefärbte Proben aus demselben Bohrmeter.

V. Schlämmanalyse und Korngrößenverteilung

Die 31 Proben wurden nach der Aufbereitung in Korngrößenklassen zerlegt. Die Korngrößen $>63{,}2\,\mu\varnothing$ wurden durch Sieben in die Fraktionen 63,2—200, 200—632 und $>632\,\mu\varnothing$ getrennt. Das Material $<63{,}2\,\mu\varnothing$ wurde durch das Sedimentierverfahren im Atterbergzylinder in die Korngrößenklassen 63,2—20, 20—6,32, 6,32—2 und $<2\,\mu\varnothing$ zerlegt (Correns und Schott[11], Lippmann[30]).

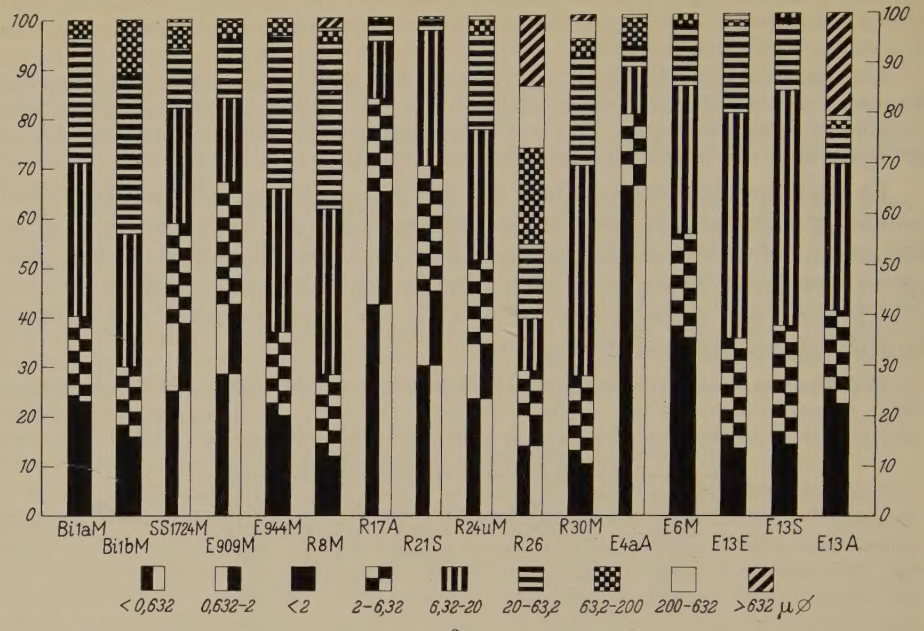
Mit dem Pipettverfahren wurde bei vielen Proben zusätzlich noch die Fraktion $<0{,}632\,\mu\varnothing$ erfaßt, aber nicht quantitativ abgetrennt.

Abb. 2 zeigt die Korngrößenverteilung aller untersuchten Proben.

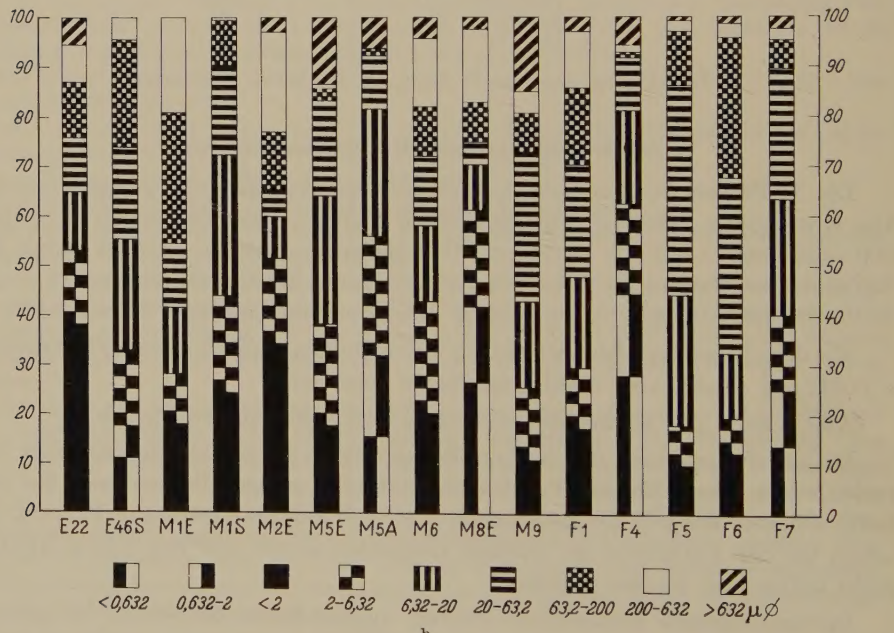
Bei der Betrachtung der Korngrößenverteilung fallen zunächst die zum Teil recht hohen Werte für die Fraktionen $>200\,\mu\varnothing$ einiger Proben auf. Bei den tonig-weichen Mergeln (ausgenommen F1—F7) sind es verfestigte Partien, die schon bei der Entnahme der Proben vorhanden waren und mit 0,01 n NH_4OH nicht aufbereitet werden konnten.

Die mit Säuren behandelten Proben zeigen dieses Maximum bei groben Fraktionen dann, wenn sie nach dieser Behandlung nicht noch weiter durch Reiben mit dem Finger und sanftes Zerdrücken mit einer Glasfläche zerkleinert, sondern nur geschüttelt wurden (s. z. B. M1E und M1S). Bei E13A und M5A sind es unveränderte karbonatische Gesteinsstücke.

Die Korngrößenverteilung der roten Proben aus der Ziegelei in Friedland, die nur mit 0,01 n Ammoniak aufbereitet wurden, zeigt auch deutliche Unter-



a



b

Abb. 2a u. b. Korngrößenverteilung der untersuchten Proben (in Gewichtsprozenten)

schiede zwischen dem „fetten" und „schweren" Ton einerseits und dem „leichten" Ton andererseits. Der „leichte" Ton hat einen 3mal höheren Gehalt an Material

$< 2\,\mu\varnothing$ (45%) als der „fette" (12%) und der „schwere" Ton (18%) und nur ungefähr ein Viertel des Materials $> 63{,}2\,\mu\varnothing$ (8%) gegenüber diesen beiden Proben (32 bzw. 30%). Dieser Unterschied entsteht durch den verschieden hohen Karbonatgehalt (grobkörnig) und die damit verbundene Verdünnung des Tonanteils (s. Tabelle 10) sowie durch die verschieden starke Verfestigung des Materials (Aggregatgehalt).

Besonders auffallend sind aber auch die höheren Werte der Fraktion $< 2\,\mu\varnothing$ der mit dem Austauscher aufbereiteten Proben, wenn man sie mit denjenigen der mit Säuren behandelten Proben vergleicht (M5A—M5E; E13A—E13E—E13S, aber auch ohne Vergleichsmöglichkeit: E4aA und R17A). Dieser Unterschied läßt sich durch die starke Durchbewegung beim dauernden Rühren und die dadurch entstehende Reibung der Tonaggregate an den Austauscherkörnern erklären. In geringem Maße wird auch Amberlite-Material zerrieben, gelangt in die feinen Fraktionen und macht sich bei der Herstellung von Texturpräparaten und besonders bei der chemischen Untersuchung als „organische Substanz" unangenehm bemerkbar.

VI. Untersuchungsmethoden

Der Mineralbestand der einzelnen Fraktionen wurde durch röntgenographische und mikroskopische Untersuchungen erfaßt.

Zur röntgenographischen Identifizierung der Tonminerale sind die Basisreflexe (00*l*) besonders wichtig. Deshalb wurden von den Fraktionen $< 20\,\mu\varnothing$ durch Sedimentieren einer Suspension auf eine ebene Glasfläche (Objektträger) orientierte Präparate hergestellt. Die Blättchenebene der Tonminerale liegt in der Präparatebene. Die Röntgenaufnahmen wurden mit einem registrierenden Zählrohrgoniometer (Müller-Mikro 111) und $Cu_{k\alpha}$-Strahlung durchgeführt. Durch Sättigung mit Äthylenglykol konnten quellfähige Minerale von nicht quellfähigen unterschieden werden. Röntgenaufnahmen erhitzter Präparate sollten das Verhalten bestimmter Minerale bei höheren Temperaturen zeigen.

Mit der Guinier-Kamera nach v. Wolff[32, 47] erhält man bei orientierten Präparaten die Nichtbasisreflexe der Tonminerale. Besonders wichtig sind die (0k0)-Reflexe zur Unterscheidung von dioktaedrischen und trioktaedrischen Mineralen und zum Nachweis von Kaolinit neben Chlorit.

Die Fraktionen $> 6{,}32\,\mu\varnothing$ wurden qualitativ und weitgehend auch quantitativ mit dem Polarisationsmikroskop untersucht.

VII. Mineralbestand

1. Tonminerale. Die Tonminerale sind natürlich in den Fraktionen $< 6{,}32\,\mu\varnothing$ stark angereichert, treten aber auch in gröberen Fraktionen reichlich in den „Aggregaten" auf.

a) Illit. Das häufigste und verbreitetste Tonmineral ist der Illit. Er ist in wechselnden Mengen in allen Proben vorhanden und an den Basisreflexen bei 10 Å (002), 5 Å (004) und höheren Ordnungen zu erkennen. Es handelt sich immer um dioktaedrischen (muskovitähnlichen) Illit, nachgewiesen durch die relativ starke Intensität des 5 Å-Reflexes und die *d*-Werte von 1,50 Å für (060) bzw. 4,50 Å für (020). Nach Erhitzen auf 550° C ändern sich die Linien nicht. Der Illitgehalt der Fraktionen $< 2\,\mu\varnothing$ schwankt zwischen 25 und 90%.

b) Chlorit. Weit weniger häufig, aber ebenfalls in allen untersuchten Proben vorhanden, ist der Chlorit, gekennzeichnet durch seine Basisreflexe bei 14 Å, 7 Å, 3,5 Å usw. Er ist trioktaedrisch [(060) bei 1,54 Å] und erreicht in der Fraktion $< 2\,\mu\varnothing$ der Proben R8M und R30M 30 bzw. 50%. In den anderen Proben schwankt der Chloritgehalt in dieser Fraktion zwischen 5 und 20%.

Eine wichtige Frage ist die, ob neben Chlorit auch Kaolinit vorhanden ist. Die Koinzidenz der Reflexe beider Minerale erschwert die Entscheidung, besonders bei so kleinen Mengen, wie sie im Großteil der untersuchten Proben vorliegen, sehr, aber die Intensitätsverhältnisse der einzelnen Reflexe und das Nichtauftreten der (060)-Linie bei 1,49 Å (Guinier-Kamera) sprechen gegen das Vorhandensein eines kaolinitischen Minerals neben Chlorit. Eine Linie bei 1,49 Å trat nur in solchen Proben und Fraktionen auf, die durch ihre intensive braunrote Farbe viel Hämatit vermuten ließen, der dann in Zählrohraufnahmen durch weitere Linien bei 2,69 und 2,52 Å auch bestätigt wurde. LIPPMANN[31], HONEYBORNE[23], SCHMITZ[41] und ECKHARDT[14] konnten in den von ihnen untersuchten Keupersedimenten ebenfalls keinen Kaolinit nachweisen.

Aus Erhitzungsversuchen konnte nichts entnommen werden, da die Basisreflexe des Kaolinits bei etwa der gleichen Temperatur ($\sim 550^0$ C) verschwinden wie die koinzidierenden Chloritinterferenzen (WEAVER[46]) und diese Temperatur von der Korngröße und dem Kristallisationsgrad abhängig ist.

Das röntgenographische Verhalten des Chlorits der Fraktion R8M$<2\,\mu\varnothing$ beim Erhitzen zeigen Abb. 3 und Tabelle 2.

Tabelle 2. *Basisreflexe von Chlorit bei verschiedenen Temperaturen* (Probe R8M; Fraktion $<2\,\mu\varnothing$)

	60°C	I rel.	1 Std 400° C	I rel.	5 Std 550° C	I rel.	1 Std 590° C	I rel.
001	14,24	40	14,11	37	13,84	66	13,63	63
002	7,11	100	7,11	84	7,08	10	6,95	3
003	4,73	47	4,73	47	4,73	3	n. v.	
004	3,54	79	3,54	74	3,53	21	3,49	18
005	2,84	40	2,85	16	2,81	18	2,79	18

n. v. = nicht vorhanden.

Die Verschiebung der (001)-Linie zu kleineren *d*-Werten bei thermischer Behandlung soll durch den stufenweisen Abbau der Brucitschicht verursacht werden. Die thermische Beständigkeit vor allem der (004)- und (005)-Reflexe hängt vom Kristallisationsgrad des Chlorits ab.

Nach dem Vorschlag von BRINDLEY u. GILLERY[7] wurde die Strukturformel des Chlorits der Probe R30M aus 2 Röntgenaufnahmen der Fraktion $<2\,\mu\varnothing$ berechnet. Die Ergebnisse wurden gemittelt:

$$Mg_{4,3}Fe^{2+}_{0,8}Al_{0,9}(Si_{3,1}Al_{0,9})O_{10}(OH)_8$$

Die Strukturformel entspricht einem Klinochlor.

Der geringe Chloritgehalt in den Tonfraktionen ließ eine solche Berechnung für die anderen Proben nicht zu.

Größere Chloritblättchen wurden in den gröberen, mikroskopisch untersuchten Fraktionen beobachtet. Hier konnte ein Unterschied zwischen dem Chlorit der Bohrproben und dem der Übertageproben festgestellt werden. In den Übertageproben sind die Chlorite blaßgrün (//001), haben eine Lichtbrechung n = 1,62–1,63 ($\sim$ Diabantit) und immer Eisenoxydausscheidungen, die manchmal scharf ausgebildete Sechsecke darstellen.

Die Chloritblättchen der Bohrproben sind weitgehend frei von Eisenoxydausscheidungen, intensiver grün gefärbt, höher lichtbrechend, also eisenreicher (s. auch Chemie und Diskussion).

c) Corrensit. In 19 der 27 verschiedenen Proben wurde Corrensit als drittes Tonmineral festgestellt. Er fehlt in den untersuchten Proben des Aufschlusses bei Reckershausen sowie in E909 und E4a und erreicht in den Fraktionen $< 2\,\mu\,\varnothing$ der übrigen Proben Werte von 5—60%.

Corrensit wurde schon von Honeyborne[23], Jasmund[26], Lippmann[31] u. Schmitz[41] in Keupersedimenten beschrieben, von Lippmann[31] (1954) benannt und von Bradley u. Weaver[5] (1956), Earley u. Mitarb.[13] (1956) und Lippmann[33] (1956) strukturell untersucht. Es ist ein trioktaedrisches Schichtsilikat mit regelmäßiger Wechsellagerung von Chlorit- und quellfähigen Schichten. Die beiden Schichtkomponenten sind im Verhältnis 1:1 vorhanden. Der bei Corrensit je nach Vorbehandlung variable Basisabstand um 30 Å ergibt sich immer als Summe des Chloritabstandes und des jeweiligen, von der Vorbehandlung abhängigen Schichtabstandes des quellfähigen Minerals (Tabelle 3).

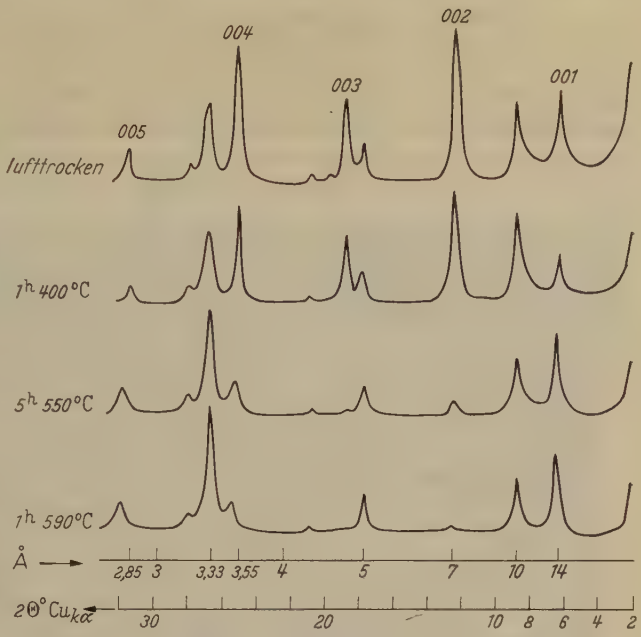


Abb. 3. Röntgenbasisreflexe von Chlorit bei thermischer Behandlung; Probe R8M, Fraktion $< 2\,\mu\,\varnothing$

Tabelle 3. *Basisreflexe von Corrensit* (Probe E13E$_1$*; Fraktion $< 0{,}632\,\mu\,\varnothing$)

Indices	Lufttrocken			Mit Äthylenglykol gesättigt		
	d (Å) gem.	d_{001} (Å) ber.	I rel.	d (Å) gem.	d_{001} (Å) ber.	I rel.
001	29,4		38	31,1		50
002	14,6	29,2	100	15,44	30,9	88
003	9,7	29,1	25	10**		
004	7,27	29,1	25	7,74	31,0	41
005	5,80	29,0	4	6,19	31,0	4
006	4,87	29,2	35	5,15	30,9	31
007	4,16	29,1	2	4,41	30,9	14
008	3,62	28,9	31	3,86	30,9	7
009	3,23	29,1	15	3,43	30,9	52
0010	2,90	29,0	19	3,08	30,8	4
0011	n. v.			2,81	30,9	16
0013	n. v.			2,37	30,8	1
0014	2,05	28,7	2	n. v.		
0015	n. v.			2,06	30,9	4
Mittelwert		29,1			30,9	

* Aus einer gesondert mit 4 m Essigsäure aufbereiteten Probe abgeschlämmt.

** Liegt im breiten Illitreflex.

n. v. = nicht vorhanden.

Tabelle 4. *Röntgenographisches Verhalten von Corrensit beim Erhitzen* (Probe E13E$_1$; Fraktion $< 0{,}632\ \mu\varnothing$)

00l	Lufttr. d (Å)	I	1 Std 300° C d (Å)	I	1 Std 400° C d (Å)	I	1 Std 550° C d (Å)	I	2 Std 600° C d (Å)	I
001	29,4	38	28,9	8	22,9	1	22,9	5	21,1	4
002	14,6	100	14,4	49	12,5	23	12,1	40	11,7	31
003	9,7	25	7,43	br	8,11	25	8,0	5	7,8	4
004	7,27	25	7,19	14	6,03	2	n. v.		n. v.	
005	5,80	4	5,82	1	4,81	14	4,78	1	n. v.	
006	4,87	35	4,87	13	3,94	1	n. v.		n. v.	
007	4,16	2	n. v.		3,41	14	n. v.		n. v.	
008	3,62	31	3,66	8	2,98	11	2,96	12	2,95	10

br = sehr breit; n. v. = nicht vorhanden.

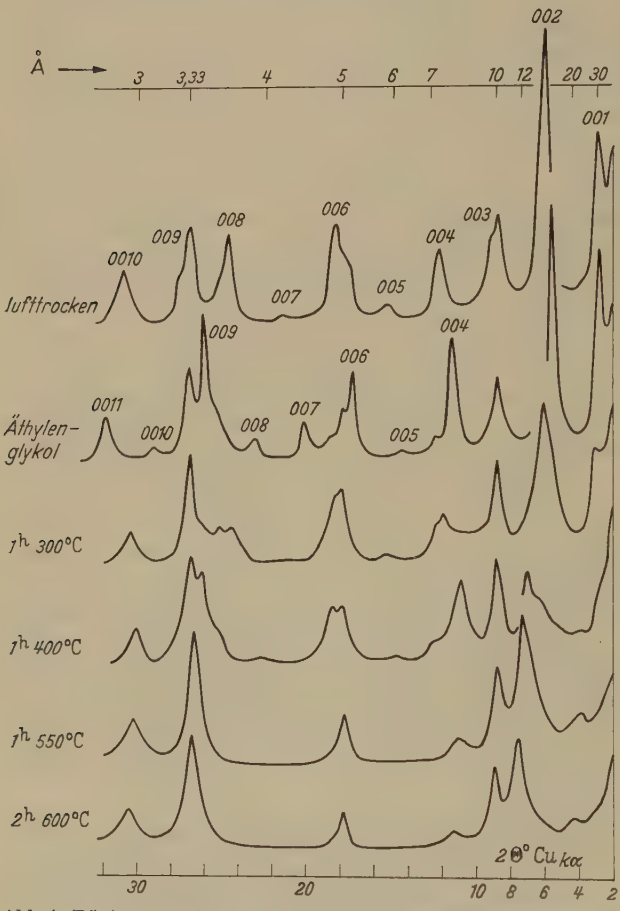


Abb. 4. Röntgenographisches Verhalten von Corrensit beim Erhitzen; Probe E13E$_1$, Fraktion $< 0{,}632\ \mu\varnothing$

Die Nichtbasisreflexe (020) und (060) wurden zu 4,58 Å und 1,54 Å bestimmt und bestätigen den trioktaedrischen Charakter.

Die Lichtbrechung, an Aggregaten gemessen, liegt etwas unter 1,57.

Tabelle 4 und Abb. 4 zeigen das röntgenographische Verhalten von Corrensit beim Erhitzen.

2. Quarz. Quarz ist in allen Proben vorhanden. Er nimmt zu kleinen Korngrößen hin ab. Im allgemeinen tritt er als unregelmäßig begrenzte, gerundete, detritische Körner auf, die oft mit tonigem Material überzogen und verkrustet sind. Einschlüsse von Rutilnadeln sind selten. Vollkommen idiomorphe (authigene) Quarze bis zu 300 μ Länge kommen in der Probe M5 und in fast allen tonig-weichen Mergeln reichlich vor. Bemerkenswerterweise haben sie sehr häufig Einschlüsse von Anhydrit (Abb. 5), der mikroskopisch nach Zerbrechen der Quarze und auch röntgenographisch bestimmt wurde (s. auch Diskussion). Freier

Anhydrit fehlt in allen untersuchten Proben. Die Bohrkernprobe *Bi1a* enthält an einer Stelle kristallinen Gips ohne Verunreinigungen.

In die roten und grünen Mergellagen der Ziegelei in Friedland sind oft Quarznester von mehreren Zentimeter Größe eingelagert. Die einzelnen, bis 5 mm großen Quarzknöllchen bestehen aus zum Teil drusenartig nach innen gewachsenen Kristallen, die ebenfalls sehr viele Anhydriteinschlüsse aufweisen.

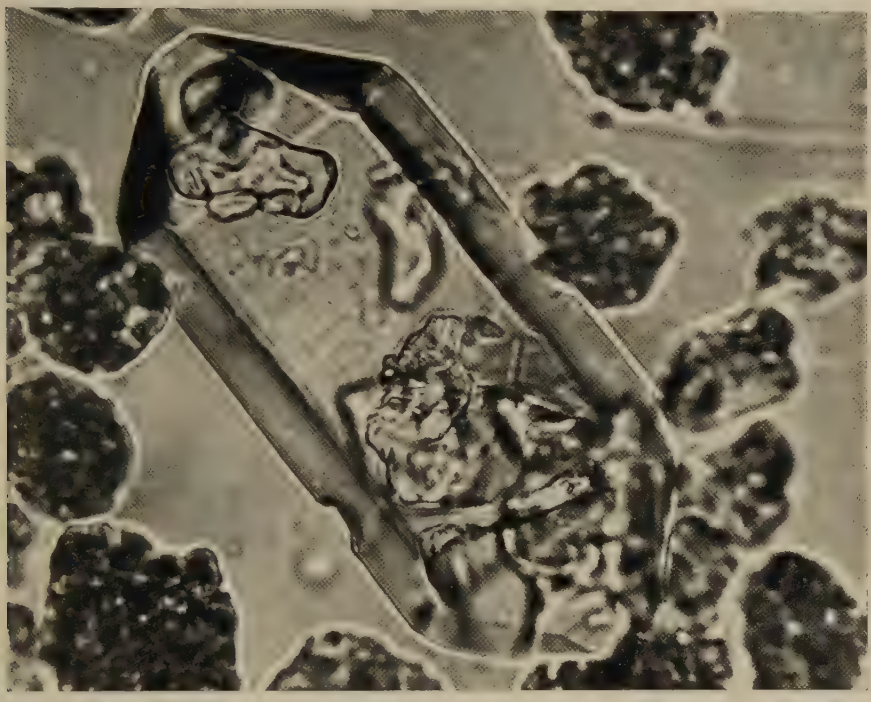


Abb. 5. Idiomorpher Quarz mit Anhydriteinschlüssen; Probe F7, Fraktion 20—60 $\mu\varnothing$; Größe etwa $100 \times 35\ \mu$; eingebettet in $n = 1{,}67$

3. Feldspat. *Plagioklas* kommt in allen Proben vor, meist in geringen Mengen und nicht idiomorph. Ausnahmen bilden die Proben R8M und R30M, wo der Plagioklasgehalt in den Fraktionen 6,32—20 und 20—63,2 $\mu\varnothing$ über 50% beträgt und in halbidiomorpher bis idiomorpher Ausbildung vorliegt, sowie die Probe M5, wo die gleichen Fraktionen sehr viele idiomorphe, authigene Plagioklaskristalle enthalten. Diese Plagioklase der Probe M5 gleichen in der Flächenausbildung und der Art der Verzwillingung (Überkreuzverzwillingung nach dem X-Karlsbadgesetz) den von Füchtbauer[16] im Göttinger Muschelkalk und von Dreizler[12] im Rückstand des Gipses von Hundelshausen (Zechstein) gefundenen Neubildungen. Nach der Lichtbrechung ($n\alpha' = 1{,}532$; $n\gamma' = 1{,}542$) sind es Albite ($\sim$10% Anorthit). Der Achsenwinkel, der ein weiteres Kriterium für authigene und magmatische Albite in Sedimenten darstellt[17], konnte wegen der geringen Größe der Minerale nicht bestimmt werden.

Häufig beobachtet man im Kern ein gerundetes (detritisches) Feldspatkorn, das höher lichtbrechend, also An-reicher als die Neubildung ist und als Keim bei der Bildung des authigenen Kristalls diente. Echte Einschlüsse von anderen

Mineralen sind selten, sehr klein und schwer bestimmbar. Nach der Lichtbrechung (immer höher als der Albit) sind es keine Karbonatkörnchen. Die, abgesehen von der geringeren Korngröße vorhandene Ähnlichkeit mit den Anhydriteinschlüssen im authigenen Quarz derselben Probe ist groß.

In mehreren Proben tritt neben dem Plagioklas auch *Kalifeldspat* auf. Er ist relativ häufig in der Probe E46 und nie idiomorph. Die Lichtbrechung liegt bei 1,52—1,53, der Achsenwinkel 2 V α beträgt ungefähr 50°. An einigen Körnern wurde eine extrem feine Gitterung beobachtet.

4. Muskovit. Neben dem schon beschriebenen Chlorit wurden in den gröberen Fraktionen aller Proben auch Muskovitblättchen gefunden. Sie sind frei von Eisenoxydausscheidungen und schwach blaßgrün in der Blättchenebene. Die Lichtbrechung liegt bei 1,58—1,61; der Achsenwinkel beträgt 2 V$\alpha \sim 35°$.

5. Baryt kommt in den Proben E22, M5 und M9 vor. In Probe M5 sind es 6—60 μ große Körner mit unregelmäßiger Begrenzung, sehr rauher Oberfläche und einer mittleren Lichtbrechung n = 1,64.

In Probe E22 sind es grünliche Körner mit einem dichten schwarzen Überzug, der, bei starker Vergrößerung erkennbar, aus braunroten Eisenoxydkörnern besteht.

In diesen beiden Proben wurde Baryt auch röntgenographisch festgestellt. Cölestin wurde mikroskopisch und röntgenographisch nicht gefunden.

6. Schwerminerale sind selten: abgerundeter Zirkon, idiomorpher Turmalin und ganz selten Rutil (als Nadeln im Quarz).

7. Eisenoxyd. Besonders in den rotbraunen Proben ist Eisenoxyd reichlich vorhanden. Es überzieht in feinster Verteilung die Minerale und Tonaggregate und erschwert ihre mikroskopische Bestimmung. Die Röntgenreflexe ergeben Hämatit. Im Säureunlöslichen der grünen Proben, z. B. M8E, wurden sehr häufig kleine, braunrote Einzelkörnchen von Eisenoxyd ($\sim 1\,\mu\varnothing$) beobachtet (s. auch Diskussion).

8. Karbonat. Wie die Röntgenaufnahmen der Gesamtproben zeigen, haben die *harten Tonsteine* nur Dolomit als Karbonat, mit Ausnahme der Probe M5, die nur Calcit enthält. Dünnschliffuntersuchungen scheiterten an der Feinkörnigkeit und am tonigen Material, das die Karbonatkörner bedeckt und bei der Herstellung eines normalen Dünnschliffes noch weiter verschmiert wird.

Bei den *tonig-weichen Mergeln*, die nur mit 0,01 n Ammoniak behandelt worden waren, konnte das Karbonat in den Fraktionen untersucht werden. Neben dem Dolomit kommt hier meist auch Calcit vor:

Der *Dolomit* tritt hier fast immer als Rhomboeder auf, mit gerundeten Ecken und Kanten, oft glatt und sauber, oft zonar mit scharfeckigem Kern und durch Verunreinigungen abgegrenzten Zonen. Die maximale Anreicherung ist immer in der Fraktion 6,32—20 $\mu\varnothing$. Der Dolomitanteil der gröberen Fraktionen ist zum größten Teil auf Aggregate zurückzuführen.

Die *Calcit*körner sind meist als Rhomboeder mit scharfen Kanten und Ecken und ohne Zonarbau ausgebildet, teils auch unregelmäßig geformt und haben ihr Häufigkeitsmaximum bei gröberen Fraktionen (20—63,2 $\mu\varnothing$). Sie besitzen oft Einschlüsse der oben beschriebenen Dolomitkörner und von tonigem Material (s. auch Diskussion).

9. Aggregate. Trotz der sehr sorgfältig vorgenommenen Aufbereitung treten in vielen mikroskopisch untersuchten Fraktionen große Mengen von Aggregaten auf. Je nach Mineralbestand der Probe kann man unterscheiden: reine Tonaggregate, Ton-Quarz-Aggregate, Ton-Quarz-Feldspat-Aggregate, Quarz-Aggregate, dasselbe jeweils mit Hämatit und in den nichtentkarbonatisierten Proben zusätzlich noch sämtliche Kombinationen mit Karbonat und reine Karbonat-Aggregate.

Die Farbe variiert je nach Größe (Dicke) und Zusammensetzung zwischen grün, rot, rotbraun, braun, grau, dunkelgrau und schwarz. Mit der Zusammensetzung variiert auch die Lichtbrechung.

Die Aggregate enthalten keine neuen Mineralkomponenten. Der tonige Anteil in illitreichen Proben ist auch in den Aggregaten Illit; in Proben mit viel Corrensit neben Illit wird er von beiden Mineralen gebildet.

Ein großer Teil des nichtidiomorphen Quarzes befindet sich in den Aggregaten und ist mikroskopisch nicht erfaßbar. Dies zeigt ein Vergleich der röntgenographisch und mikroskopisch ermittelten Werte in den Fraktionen $>6{,}32\,\mu\varnothing$ (Tabelle 5).

Es spricht vieles dafür, daß die Aggregatbildung eine Folge diagenetischer Vorgänge im Sediment ist.

Tabelle 5 zeigt die Mineralverteilung in den einzelnen Fraktionen.

Von einzelnen Proben wurde in einem gesonderten Arbeitsgang vom Material $<2\,\mu\varnothing$ eine für die Röntgenanalyse ausreichende Menge der Fraktion $<0{,}632\,\mu\varnothing$ abgetrennt und der Anteil $<0{,}632\,\mu\varnothing$ durch die Pipettanalyse bestimmt. Die Fraktion $<2\,\mu\varnothing$ enthält auch in diesen Proben noch die gesamte Fraktion $<0{,}632\,\mu\varnothing$.

Die Prozentanteile der einzelnen Minerale der feinen Fraktionen wurden aus Röntgenaufnahmen von Texturpräparaten nach Sättigung mit Äthylenglykol nach der Methode von Johns, Grim u. Bradley[27] berechnet. Dafür wurden möglichst dünne Präparate hergestellt, damit die den Röntgenstrahlen ausgesetzte Schicht in ihrem Mineralbestand der wirklichen Mineralverteilung entspricht. Zu dicke Präparate erfüllen diese Voraussetzung nicht, da vorhandener Quarz (oder Feldspat oder Karbonat) sich infolge seiner Gestalt und Korngröße vor den blättchenförmigen Tonmineralen zuerst absetzt, besonders in Suspensionen, die das gesamte Material $<2\,\mu\varnothing$ enthalten.

Bei der Bestimmung der Mineralanteile wurden meist die Intensitäten der Reflexe bei 15,5 Å [Corrensit (002) gequollen], 10 Å (Illit 002) und 7 Å (Chlorit 002) verglichen. Wegen des unterschiedlichen Streuvermögens wird beim Vergleich I_{002}Illit und I_{002}Corrensit ein Korrekturfaktor benötigt. Die beste Übereinstimmung mit Berechnungen (ohne Faktor) in quarzfreien Proben im d-Wertbereich 3,3—3,5 Å wurde erzielt, wenn bei den kleineren Winkelwerten (10—15 Å) der Faktor 2 benutzt wurde, d. h. die Intensität der (002)-Linie des Illits verdoppelt und dann direkt mit (002) von Corrensit verglichen wurde. In quarzhaltigen Proben ist wegen der Koinzidenz der stärksten Quarzlinie mit (006) des Illits ein unmittelbarer Vergleich der 3 Tonminerale ohne Korrekturfaktor, also im Bereich 3,3—3,5 Å, oft nicht möglich.

Die Fraktionen $>6{,}32\,\mu\varnothing$ wurden mikroskopisch untersucht. Es wurden jeweils etwa 1000 Körner ausgezählt. In Tabelle 5 ist zum Vergleich oft die Mineralverteilung mit angegeben, wie sie aus Pulveraufnahmen dieser gröberen Fraktionen geschätzt wurde.

Tabelle 5. *Mineralbestand der Fraktionen*

Probe	Fraktion μ ⌀	Co	Ch	I	Q	n. id.	h. id.	id.	Plg	n. id.	h. id.	id.	Or	Ch + Mus	Aggr	Zr	T+ Op	Hä	Ba	Ca	Do	R
Bi1aM	R < 2	40	10	45	< 5				< 5									+				
	R 2—6,32	40		45	10				5									+				
	R 6,32—20	30		45	15				10				+					+				
	M 6,32—20				13	(+ F)			+					16	70		1					
	R 20—63,2	20		25	40				15				+					+				
	M 20—63,2				18				6					7	69	+						
Bi1bM	R < 2	40	15	40	< 5				< 5													
	R 2—6,32	40		45	10				5				+									
	R 6,32—20	40		45	5				10				+									
	M 6,32—20				34	(+ F + Ch + Mus)									65		1					
	R 20—63,2	25		40	20				15				+									
	M 20—63,2				8				6					5	80	1	+					
SS1724M	R < 2	15*	15	60*	10																	
	R 2—6,32	15*	10	30*	40				5				+									
	R 6,32—20	10		30	50				10				+									
	M 6,32—20				35	(+ F)								18	42	2	3					
	R 20—63,2	10		30	50				10				+									
	M 20—63,2				6				2					3	87		2					
	R 63,2—200	5		25	60				10				+									
E909M	R < 2		20	60	15				< 5													< 5
	R 2—6,32		10	25	60				5													
	R 6,32—20		10	20	60				10													
	M 6,32—20				36	(+ F)								15	48	1						
	R 20—63,2		5	15	60				20				+									
	M 20—63,2				31				8					11	48		2					
E944M	R < 2	55	10	35																		
	R 2—6,32	40		50	5				5													
	R 6,32—20	30		40	25				5				+									
	M 6,32—20				23	(+ F)								22	54		1					
	R 20—63,2	30		40	25				5				+									
	M 20—63,2				16				6					9	68		1					
R8M	R < 2		55	25	10				5													5
	R 2—6,32		20	10	20				50													
	M 6,32—20				12				83		(84)	(16)		2	2	1						
	M 20—63,2				18				80		(82)	(18)			2							
R17A	R < 0,2		10	90																		
	R < 0,632		15	85																		
	R < 2		15	70	10				< 5													
	R 2—6,32		10	30	40				20													
	R 6,32—20		10	25	40				25													
	M 6,32—20				40	(+ F)								12	47		1					
	R 20—63,2		< 5	25	60				10													
	M 20—63,2				11				4					2	81		2					
R21S	R < 0,632		15	75	5				< 5													
	R < 2		15	75	5				< 5													
	R 2—6,32		10	50	30				10				+									
	R 6,32—20		10	40	30				20				+									
	M 6,32—20				58	(+ F + Mus)								2 Ch	38	2	+					
	M 20—63,2				12				3					3	81		1					

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Probe	Fraktion $\mu \varnothing$	Co	Ch	I	Q	n. id.	h. id.	id.	Plg	n. id.	h. id.	id.	Or	Ch + Mus	Aggr	Zr	T+ Op	Hä	Ba	Ca	Do	R
R24uM	R < 0,632		15	80																		5
	R < 2		15	80	5																	
	R 2—6,32		15	50	30				5													
	R 6,32—20		15	40	40				5													
	M 6,32—20				15				4					5	71	2		3				
	R 20—63,2		10	40	40				10													
	M 20—63,2				15				2					3	78		2					
R26	R < 0,632		10	85																		5
	R < 2		20	65	10															< 5	< 5	
	R 2—6,32		10	30	40				< 5											5	10	
	M 6,32—20				30				5					20	13	1	1			5	25	
	M 20—63,2				25				10					3	40	< 1		< 1		20		1
	M 63,2—200				1										27					70	2	
	R 200—632		15		10															70	5	
	R > 632		5		5				< 5											85		
R30M	R < 2		30	30	25				15													
	R 2—6,32		20	15	25				40													
	M 6,32—20				28				71		(100)			1								
	M 20—63,2				25				70		(100)			5								
E4aA	R < 2		10	90														+				
	R 2—6,32		5	35	30				30				+					+				
	R 6,32—20		< 5	30	45				20				+					+				
	M 6,32—20				40	(+F)			+					16	42		2					
	R 20—63,2		< 5	55	30				10				+					+				
	M 20—63,2				2				1					1	94		2					
	R 63,2—200		< 5	70	20				5				+									
E6M	R < 0,632	10	5	85																		
	R < 2	10	10	75					5													
	R 2—6,32		10	65	15				10				+									
	R 6,32—20		5	70	20				5				+									
	M 6,32—20				9	(+F)			+					5	85		1					
	R 20—63,2			75	20				5				+									
	M 20—63,2				6				4					2	88	+						
E13A	R < 2	50	5	35	10				+													
	R 2—6,32		20	5	70				5													
	R 6,32—20		5		90				< 5													
E13E	R < 0,632	60	5	35																		
	R < 2	50	5	30	10				5													
	R 2—6,32		20	< 10	70				< 5													
	M 6,32—20				85	(+F)								15			+					
	M 20—63,2				90				3					6			1					
E13S	R < 0,632	65	5	30																		
	R < 2	60	5	20	10				5													
	R 2—6,32		30	10	50				> 5				+									
	M 6,32—20				85				6				+	6	3							
	M 20—63,2				88				5					7								

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Probe	Fraktion μ ∅	Co	Ch	I	Q	n. id.	h. id.	id.	Plg	n. id.	h. id.	id.	Or	Ch+Mus	Aggr	Zr	T+Op	Hä	Ba	Ca	Do	R
E22	R < 2	5	10	75	< 5																	5
	R 2—6,32		10	20	30				5				+							<	5	30
	M 6,32—20				19	(+F)								7	9				5	5	55	
	M 20—63,2				13				4						5				7	32	39	
	R 63,2—200		10		10				< 5											> 65	10	
E46S	R < 0,632	10	5	85																		
	R < 2	10	5	75	5				5													
	R 2—6,32		10	60	20				10				+									
	R 6,32—20		5	35	50				10				+									
	M 6,32—20				30	(+F)								14	55	1	+					
	R 20—63,2		20		60				15				5									
	M 20—63,2				39				10					6	44		1					
	R 63,2—200		20		50				20				10									
	M 63,2—200				39				20	(+Or)				1	40							
	R 200—632		35		50				15				+									
M1E	R < 2	5	5	75	5				5									< 5				
	R 2—6,32		5	60	20				15				+					< 5				
	R 6,32—20			30	50				20				+					+				
	M 6,32—20				1				4					7	86		2					
	R 20—63,2			40	50				10				+					+				
	M 20—63,2				7				2					4	84		3					
M1S	R < 0,632	5	5	85														< 5				
	R < 2	5	5	80	5				5									+				
	R 2—6,32		5	75	10				10				+					+				
	R 6,32—20			50	40				10				+									
	M 6,32—20				4				1					6	88		1					
	R 20—63,2			35	50				15				+									
	M 20—63,2				15				1					3	79		2					
	M 63,2—200		40		1									7	50			2				
M2E	R < 2	10	5	80					5													
	R 2—6,32		5	90					5													
	R 6,32—20			75	15				10				+									
	M 6,32—20				34	(+F)(++)(+)			1					1	61	3	T+					
	R 20—63,2			80	10				10				+									
	M 20—63,2				18	(+F)								1	78	2	1					
M5E	R < 2	35	15	40	5				5													
	R 2—6,32		15	15	30				40													
	M 6,32—20				55	(20)	(30)	(50)	40	(4)	(60)	(36)		1	3	1			1			
	M 20—63,2				46	(34)	(38)	(28)	25	(5)	(55)	(40)		1	9				19			
M5A	R < 0,632	50	10	40																		
	R < 2	35	20	40					5													
	R 2—6,32		15	15	30				40													
	M 6,32—20				55	(3)	(40)	(57)	42		(61)	(39)			< 1	< 1			< 1		2	
	M 20—63,2				62	(4)	(57)	(39)	28		(45)	(55)			4	< 1			5			
	M 63,2—200				59				8						33							

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Probe	Fraktion μ ∅	Co	Ch	I	Q	n. id.	h. id.	id.	Plg	n. id.	h. id.	id.	Or	Ch + Mus	Aggr	Zr	T + Op	Hä	Ba	Ca	Do	R
M6	R < 2	25	15	40	5				5												10	
	R 2—6,32	10		15	15				5												55	
	M 6,32—20				27	(19)	(45)	(36)	1					1	6		<1			15	50	
	M 20—63,2				48	(7)	(52)	(41)	3					<1	8		>1			25	15	
	M 63,2—200				25				1					1	3					25	45	
	M 200—632				39				2					<1	1					58		
M8E	R < 2	5	5	85	5																	
	R 2—6,32	5		60	30				5				+									
	R 6,32—20	5		30	60				5				+									
	M 6,32—20				66	(+F)	(+)		+					<1	12		5		(17)			
	R 20—63,2			40	50				10				+									
	M 20—63,2				34	(+F)			+					1	57		4	T 1	3			
	R 63,2—200			50	40				10													
	R 200—632			55	40				5													
M9	R < 2	20	10	45	5				5												15	
	R 2—6,32	10		15	30				5												40	
	M 6,32—20				47	(19)	(41)	(40)	1				+		7		1		1		43	
	M 20—63,2				82	(10)	(47)	(33)	1				+				<1		2		15	
	M 63,2—200				55				< 1					<1	9		<1				35	
F1	R < 2	20	20	55	<5													<5				
	R 2—6,32	25		35	20				5									<5		<5	10	
	R 6,32—20	10		25	40				5				+					+		5	10	
	M 6,32—20				26				1					4	61	+		+		2	6	
	R 20—63,2	10		15	40				5											20	10	
	M 20—63,2				32				2					1	52					12	1	
	R 63,2—200	30			50				5											5	10	
	R 200—632	30			50				5											5	10	
	R > 632	15			70				5											10		
F4	R < 2	20	15	60														<5				
	R 2—6,32	20		40	15				<5									<5			20	
	R 6,32—20	10		20	25				<10				+					<5		10	25	
	M 6,32—20				16	(86)	(12)	(2)							2	52		+		2	28	
	M 20—63,2				28	(50)	(28)	(22)	1						1	25	+	+	+	36	9	
	M 63,2—200				43	(16)	(70)	(14)								26				31		
	R > 632				95																	5 Anh
F5	R < 2	20	15	55	<5													<5		5		
	R 2—6,32	25		40	15				5									+		15		
	R 6,32—20	10		15	20				5									+		40	5	
	M 6,32—20				8	(+F)								1	33	+				55	3	
	R 20—63,2	10			10				5									+		70	5	
	M 20—63,2				8	(+F)			1						12					74	5	
	R 63,2—200				10				5									+		75	10	
F6	R < 2	20	20	50														<5		5		
	R 2—6,32	30		45	5				5				+					<5		5	10	
	R 6,32—20	15		25	15				10				+					+		15	20	
	M 6,32—20				10				2					2	57	+				4	25	
	M 20—63,2	10			4				1						20	+				70	5	
	R 63,2—200				5															80	5	

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Probe	Fraktion μ ⌀	Co	Ch	I	Q	Plg n. id.	Plg h. id.	Plg id.	Or	Ch + Mus	Aggr	Zr	T + Op	Hä	Ba	Ca	Do	R
F7	R < 2	25	15	60														
	R 2—6,32	25		35	10			5	+							5	20	
	R 6,32—20	15		25	20			5	+							5	30	
	M 6,32—20				18	(26)	(60)	(14) 1		4	31	+				4	42	
	R 20—63,2	10			55			5	+							20	10	
	M 20—63,2				49	(7)	(53)	(40) 1		+	21	+				24	5	
	R 63,2—200	15			55			5	5							5	15	Anh
	M 63,2—200				26	(+ F)					40					28	6	
	R 200—632	25			50			5	+								20	Anh
	R > 632	5			90												5	Anh

Erklärung zu den Tabellen 5, 6 und 7: Co = Corrensit; Ch = Chlorit; I = Illit; Q = Quarz; Plg = Plagioklas; Or = Orthoklas; Mus = Muskovit; Aggr = Aggregate; Zr = Zirkon; T = Turmalin; Op = Opakes; Hä = Hämatit; Ba = Baryt; Ca = Calcit; Do = Dolomit; R = Rest; Anh = Anhydrit; F = Feldspat; id. = idiomorph; n. id. = nicht idiomorph; h. id. = halbidiomorph = Bruchstücke idiomorpher Kristalle; R (vor Korngröße) = röntgenographisch untersucht; M (vor Korngröße) = mikroskopisch untersucht; * = zum Teil Wechsellagerung Illit-Corrensit; + = in sehr geringen Mengen vorhanden.

Der Mineralbestand der Gesamtproben und ihres karbonatfreien Rückstandes, wie er sich aus Tabelle 5 unter Berücksichtigung der Prozentanteile der einzelnen Fraktionen und des Karbonatgehaltes ergibt, ist in den Tabellen 6 und 7 zusammengestellt.

Tabelle 6. *Mineralbestand der Gesamtproben*

Probe	Co	Ch	I	Q	Plg	Or	Schw. Min.	Hä	Ba	Ca	Do
Bila	24	8	37	17	8	+		+			6
Bilb	23	8	40	12	9	+					8
SS1724	9	9	40	30	4	+	1				7
E909		5	18	18	4	+	+				55
E944	20	5	30	13	4	+	+				28
R8		7	3	7	30						53
R17		11	50	17	8		+				14
R21		8	42	15	7	+	+				28
R24u		15	50	25	4		2				4
R26		7	20	20	3					40	10
R30		3	2	12	25						58
E4a		5	45	6	4	+	+	+			40
E6	5	5	45	8	5	+					32
E13	6	1	3	26	2	+					62
E22	4	6	33	14	2	+			1	20	20
E46	4	1	21	22	7	2	+				42
M1	1	1	33	17	7	+	+	+			42
M2	4	1	45	4	5	+	+				41
M5	4	2	5	9	7				+	73	
M6	8	5	15	25	3		+			13	33
M8	2	2	40	15	2	+		+			39
M9	5	2	10	53	3	+	+	+	+		25
F1	10	10	25	34	4	+		1		7	9
F4	12	10	40	19	2	+	+	2		6	9
F5	6	5	14	13	5			1		51	5
F6	6	6	14	7	2	+		+		53	12
F7	12	7	28	27	4	+				8	14

Tabelle 7. *Mineralbestand des karbonatfreien Anteils aller Proben*

Probe	Co	Ch	I	Q	Plg	Or	Schw. Min.	Hä	Ba
Bi1a	25	8	40	18	8	+		+	
Bi1b	25	9	42	14	10	+			
SS1724	10	10	42	32	5	+	1		
E909		14	38	40	8	+	<1		
E944	30	7	40	18	4	+	<1		
R8		15	5	15	65				
R17		13	55	20	10		<1		
R21		12	60	18	10	+	<1		
R24u		14	55	25	4		2		
R26		15	40	40	5		+		
R30		8	7	27	58				
E4a		8	75	10	6	+	+	+	
E6	6	6	70	12	6	+	+		
E13	15	2	9	70	4	+			
E22	6	10	55	23	4	+			2
E46	6	2	37	40	12	3	+		
M1	2	2	55	29	12	+	+	+	
M2	6	2	78	6	8	+	+		
M5	15	9	17	32	25				2
M6	13	8	26	46	6		+		
M8	3	3	65	25	4	+		+	
M9	6	3	14	72	3	+	+	+	1
F1	11	11	30	43	5			+	
F4	15	11	50	20	2			+	
F5	15	10	35	30	10			+	
F6	17	15	40	23	5			+	
F7	15	10	35	35	4	1			

Qualitative röntgenographische Untersuchungen der feinen Fraktionen anderer Proben des Steinmergelkeupers (Hundeberg bei Moringen, Straßeneinschnitt zwischen Bovenden und Parensen, Gutenbergstraße in Göttingen, sowie zusätzliche Proben aus Reckershausen) erbrachten den gleichen Mineralbestand wie die quantitativ untersuchten Proben (Tabelle 8).

Tabelle 8. *Qualitativer Mineralbestand der Tonfraktion einiger weiterer Proben*

Probe	Farbe	Mineralbestand
Reckersh. R14 . . .	graugrün	**Illit**, Chlorit
Reckersh. R29 . . .	graugrün	**Illit**, Chlorit
Elkersh. E15	graue Dolomitbank	Illit, Corrensit
Hundeberg, 5 m unter Rätsdst.	rotbraun	**Illit**
Parensen, unter Rätsdst.	grau	**Illit**, Corrensit
Göttg. Gutenbergstr. .	rotbraun	**Illit**, Chlorit
Göttg. Gutenbergstr. .	graugrün	Illit, Chlorit
Göttg. Gutenbergstr. .	grau, hart	Illit, Corrensit
Göttg. Gutenbergstr. .	grün, tonig-weich	**Illit**, Corrensit

VIII. Chemische Untersuchungen

Für die chemische Untersuchung wurden 5 Gesamtproben und 6 Fraktionen $< 2\ \mu\varnothing$ ausgewählt. Neben diesen 11 Vollanalysen wurde von allen Proben der CO_2-Gehalt bestimmt.

Die Gesamtproben E6, E13, M1, R21 und E944 stellen in ihrer petrographischen Ausbildung charakteristische Gesteinsarten des untersuchten Gebietes dar (Tabelle 6).

Bei der Auswahl der Fraktionen $< 2\ \mu\varnothing$ wurde auf verschiedene Punkte Wert gelegt; einmal sollte jeweils ein Tonmineral stark angereichert sein (M8E:

Illit; E13E und E13A: Corrensit); dann sollte die chemische Auswirkung verschiedener Aufbereitungsmethoden geprüft werden können (E13E und E13A) und außerdem ein Vergleich zwischen den Tonfraktionen der Übertageproben und denen von Bohrproben (Bi1aM; E944M) möglich werden.

Die chemischen Bestimmungen wurden weitgehend nach der Methode von SHAPIRO u. BRANNOCK[43] durchgeführt: SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, P_2O_5, MnO wurden kolorimetrisch (TiO_2 zusätzlich noch fluoreszenzspektrographisch), CaO, MgO komplexometrisch, K_2O und Na_2O flammenphotometrisch nach SHAPIRO u. BRANNOCK, FeO titrimetrisch nach der klassischen Methode, H_2O^+ nach PENFIELD und CO_2 volumenometrisch bestimmt. Für die CO_2-Bestimmung wurde die Kohlensäurebestimmungsapparatur nach KLEINE benutzt und verfeinert. Die MgO-Bestimmung wurde nach SCHWARZENBACH[42] verbessert.

Tabelle 9 zeigt die chemischen Analysen der Proben und Fraktionen, bezogen auf eine Einwaage bei 110° C.

Tabelle 9. *Chemische Analysen, bezogen auf 110° C*

	E6	E13	M1	R21	E944
SiO_2	36,4	27,7	33,2	40,0	33,5
TiO_2	0,6	0,1	0,5	0,6	0,6
Al_2O_3	12,3	2,7	10,1	13,2	13,2
Fe_2O_3	3,6	0,6	3,5	2,6	2,4
FeO	0,5	0,2	0,5	1,1	2,1
MnO	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
CaO	9,6	18,6	12,6	8,1	7,6
MgO	12,3	18,1	12,5	10,5	17,1
Na_2O	0,5	0,2	0,6	1,3	1,0
K_2O	4,0	0,3	3,2	3,2	2,6
P_2O_5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
H_2O^+	5,1	2,4	4,1	5,2	6,5
CO_2	15,3	29,3	19,9	13,5	13,3
	100,4	100,4	100,9	99,6	100,2

	M5E $<2\,\mu$	M8E $<2\,\mu$	Bi1aM $<2\,\mu$	E944M $<2\,\mu$	E13E $<2\,\mu$	E13A $<2\,\mu$	E13A o. org. S.
SiO_2	49,5	51,3	43,8	44,0	47,0	45,3	48,3
TiO_2	1,1	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7
Al_2O_3	17,5	18,6	17,9	18,1	15,6	14,3	15,2
Fe_2O_3	3,9	5,7	6,1	3,9	} 4,5	3,0	3,2
FeO	1,2	1,1	2,1	2,6		1,3	1,4
MnO	0,07	0,07	0,06	0,09	0,05	0,05	0,05
CaO	Spur	Spur	Spur	Spur	Spur	Spur	
MgO	12,4	7,2	15,7	17,1	20,6	18,2	19,4
Na_2O	0,8	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5
K_2O	3,7	6,0	3,4	3,5	2,3	2,2	2,4
P_2O_5	0,07	0,03	0,05	0,05	0,05	0,2	0,2
H_2O^+	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	8,2	8,7
	90,3 + H_2O^+	90,0 + H_2O^+	90,3 + H_2O^+	90,5 + H_2O^+	91,3 + H_2O^+	93,9 + org. Sbst.	(100,0)

n. b. = nicht bestimmt.

Eine exakte H_2O^+-Bestimmung konnte bei den Fraktionen wegen Substanzmangel nur an der Probe E13A $<2\,\mu$ durchgeführt werden.

Bei dieser Probe machte sich fein zerriebenes Austauschermaterial durch einen beträchtlichen Gehalt an organischer Substanz bemerkbar. Der relativ hohe P_2O_5-Gehalt ist ebenfalls darauf zurückzuführen. Um sie direkt mit E13E

$< 2\,\mu\varnothing$ vergleichen zu können, wurde diese Analyse auf 100% (ohne organische Substanz) umgerechnet (Tabelle 9, letzte Spalte).

In Tabelle 10 ist der CO_2-Gehalt aller untersuchten Proben zusammengestellt.

Tabelle 10. *CO_2-Gehalt der untersuchten Proben*

Probe	Bi1a	Bi1b	SS1724	E909	E944	R8	R17
% CO_2	2,9	3,9	3,5	26,4	13,3	25,3	6,8
Probe	R21	R24u	R26	R30	E4a	E6	E13
% CO_2	13,5	1,9	18,1	27,4	19,0	15,3	29,3
Probe	E22	E46	M1	M2	M5	M6	M8
% CO_2	14,2	20,1	19,9	19,7	32,3	20,9	18,4
Probe	M9	F1	F4	F5	F6	F7	
% CO_2	12,1	6,0	6,5	19,7	15,5	5,9	

Um bei den Analysen der Gesamtproben bessere Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten, wurde der karbonatfreie Anteil berechnet (Tabelle 11). Da diese Proben alle dolomitisch sind und die karbonatfreien Fraktionen $< 2\,\mu\varnothing$, soweit chemisch untersucht, kein Calcium enthalten, wurde das ganze CaO mit der entsprechenden Menge MgO als Dolomit und MnO als $MnCO_3$ verrechnet. Die dazu benötigten CO_2-Mengen stimmen bei den Proben E6, E13 und M1 mit den chemisch ermittelten CO_2-Werten überein. Bei R21 und E944 bleibt bei der Berechnung des Karbonats als Dolomit (Ca : Mg = 1:1) CO_2 übrig (R21: 0,4% CO_2; E944: 1,2% CO_2). Röntgenographische Hinweise auf Magnesit oder Siderit fehlen. Aber unter Berücksichtigung des Mineralbestandes und FeO-Gehaltes der Fraktion $< 2\,\mu\varnothing$ der Probe E944 im Vergleich zum karbonatfreien Anteil der Gesamtprobe muß ungefähr 1% FeO der Gesamtprobe an Nichttonminerale gebunden sein, also z. B. als Karbonat vorliegen. Bei der Berechnung der chemischen Zusammensetzung des karbonatfreien Anteils wurde deshalb das übriggebliebene CO_2 bei R21 mit FeO (0,6%) und bei E944 mit FeO (0,9%) und MgO (0,5%) verrechnet und abgezogen.

Tabelle 11. *Chemische Zusammensetzung des karbonatfreien Anteils, berechnet aus der Analyse der Gesamtprobe nach Abzug des Karbonatgehaltes*

	E6	E13	M1	R21	E944
SiO_2	53,0	71,0	55,7	56,3	46,4
TiO_2	0,9	0,3	0,8	0,8	0,8
Al_2O_3	18,1	6,9	17,2	18,6	18,3
Fe_2O_3	5,3	1,5	6,0	3,6	3,3
FeO	0,7	0,5	0,9	0,7	1,7
MgO	7,9	12,1	5,8	6,3	15,4
Na_2O	0,7	0,5	1,0	1,8	1,4
K_2O	5,9	0,8	5,5	4,5	3,6
P_2O_5	0,07	0,15	0,1	0,07	0,07
H_2O^+	7,5	6,2	7,0	7,3	9,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 12. *Schwefelgehalt einiger Proben* (Anal. Ricke)

Probe	Farbe	Ges.-S %	Sulfid-S %	Sulfat-S %
M1	rotbraun	0,058	< 0,002	0,058
M1c	rosa bis grünlich	0,010	< 0,002	0,010
M2	grün	0,035	< 0,002	0,035
Bi1a	rotbraun	0,030	< 0,002	0,030
Bi1b	grau	0,052	0,007	0,045

Herr Dr. Ricke[38] bestimmte freundlicherweise den Sulfid- und Sulfatschwefelgehalt einiger Proben (Tabelle 12).

Die Proben M1, M1c und M2 folgen im Tagesaufschluß Marzhausen mit allmählichem Farbübergang direkt übereinander. *Bi1a* und *Bi1b* sind verschieden gefärbte Proben aus demselben Bohrmeter. In den Übertageproben und der roten Bohrprobe ist unabhängig von der Farbe praktisch kein Sulfidschwefel vorhanden, während die graue Bohrprobe einen deutlichen Sulfidschwefelgehalt aufweist (s. auch Diskussion).

Tabelle 13. *C-Gehalt einiger Proben*

Probe	Farbe	C der Gesamtpr. %	C auf den karb.-freien Anteil umgerechnet %
E944	dunkelgrau	0,18	0,25
R17	dunkelgrau	0,32	0,37
R21	graugrün	0,08	0,11
R24u	grau	0,055	0,06
R26	grün	0,026	0,04
M1	rotbraun	0,09	0,15
E6	grün	0,02	0,03
E13	grau	0,007	0,02

Herrn Dr. WLOTZKA verdanke ich die Kohlenstoffwerte der Tabelle 13 (s. auch Diskussion).

Herr Prof. Dr. HARDER[21] bestimmte den Borgehalt einiger Proben und Fraktionen (Tabelle 14). Das Bor ist in Proben, die vorwiegend Illit enthalten, relativ angereichert. Corrensit- und chloritreiche Proben ergeben niedrigere Werte.

Im folgenden wird versucht, aus der Analyse der sehr illitreichen Fraktion M8E $<2\,\mu\varnothing$ die *chemische Zusammensetzung des Illits* zu gewinnen.

Die Fraktion M8E $<2\,\mu\varnothing$ hat folgenden, röntgenographisch nach JOHNS, GRIM u. BRADLEY[27] bestimmten Mineralbestand: 85% Illit, 5% Corrensit, 5% Chlorit, 5% Quarz.

Chlorit, Corrensit und Quarz werden von der Gesamtanalyse abgezogen.

Unter der Annahme, daß der Chlorit in M8 derselbe ist wie in R30, nämlich ~Klinochlor, wird, da von der chloritreichen Fraktion $<2\,\mu\varnothing$ dieser Probe nicht genügend Substanz für eine chemische Analyse zur Verfügung stand, die Analyse des Chlorits von Rimpfischwäng (Klinochlor) aus ECKHARDT[14] verwendet. Da sie auf $^1/_{20}$ verdünnt werden muß, bevor sie von M8E $<2\,\mu\varnothing$ abgezogen wird, spielen geringe chemische Abweichungen vom tatsächlich vorliegenden Chlorit kaum eine Rolle.

Tabelle 14. *Borgehalt einiger Proben und Fraktionen*

Probe	Bor in g/T
E13E $<2\,\mu\varnothing$	150
M8E, R26 $<2\,\mu\varnothing$	450
R26	200
R30M $<2\,\mu\varnothing$	200

Für Corrensit wird die von BRADLEY u. WEAVER[5] mitgeteilte Analyse benutzt, die vorher nach Abzug von 18% Quarz und H_2O^- neu auf 100% umgerechnet wurde. Auch hier werden durch die starke Verdünnung eventuelle Abweichungen vom tatsächlich vorhandenen Corrensit kaum ins Gewicht fallen.

Außerdem werden 5% Quarz (röntgenographisch bestimmt) abgezogen.

Tabelle 15 zeigt die auf diese Weise erhaltene chemische Zusammensetzung des Illits der Probe M8. Zum Vergleich wurden die 5 Illitanalysen von GRIM[19], die Ross u. HENDRICKS[22] zur Berechnung einer Strukturformel benutzt haben, gemittelt und diese Durchschnittsanalyse in der Tabelle mit angegeben.

Der K_2O-Gehalt (7,0%) liegt höher als bei den Analysen von GRIM (K_2O-Durchschnitt ~6,1%). Noch höhere Werte fand NIEMANN[36] für den Illit des Grauen Salztons (K_2O ~8,8%).

Die Illitanalyse der Probe M8 gestattet nun die Berechnung der *chemischen Zusammensetzung des Corrensits* aus E13A $<2\,\mu\varnothing$ und E13E $<2\,\mu\varnothing$.

Der röntgenographisch ermittelte Mineralbestand dieser Fraktionen setzt sich zusammen aus 50% Corrensit, 5% Chlorit, 30% Illit, 10% Quarz und ungefähr

5% Feldspat. Der Quarzgehalt wurde durch Eichaufnahmen bestätigt. Der wahre Illitgehalt läßt sich aus dem K_2O-Wert unter Benutzung der eben erhaltenen Illitanalyse berechnen: E13A $< 2\mu\varnothing$ enthält 34%, E13E $< 2\mu\varnothing$ 32% Illit.

Von der Gesamtanalyse werden abgezogen: 32 bzw. 34% Illit, je 10% Quarz, je 5% Chlorit (Klinochlor) und je 4% Albit, indem sämtliches Na_2O (0,5%) zu Albit verrechnet wurde.

Die Verteilung von Fe^{3+} und Fe^{2+} wurde für E13E $< 2\mu\varnothing$, wo wegen Substanzmangel nur das Gesamteisen als Fe_2O_3 bestimmt werden konnte, wie in E13A $< 2\mu\varnothing$ angenommen.

Die resultierende Corrensitanalyse und die nach Abzug von 18% SiO_2 und H_2O^- wieder auf 100% umgerechnete Analyse von Bradley u. Weaver sind in Tabelle 16 wiedergegeben.

Tabelle 15. *Chemische Zusammensetzung des Illits* (Probe M8E; Fraktion $< 2\mu\varnothing$)

	M8E $< 2\mu\varnothing$	∅ aus 5 Analysen von Grim
SiO_2	50,6	49,4
TiO_2	0,7	0,4
Al_2O_3	20,1	24,8
Fe_2O_3	6,6	7,4
FeO	0,9	0,7
MnO	0,08	—
CaO	—	0,3
MgO	5,0	3,1
Na_2O	0,2	—
K_2O	7,0	6,1
H_2O^+	8,9	7,7

Tabelle 16. *Chemische Zusammensetzung von Corrensit* (Mittel aus E13A $< 2\mu\varnothing$ und E13E $< 2\mu\varnothing$)

	E13 $< 2\mu\varnothing$	Bradley u. Weaver
SiO_2	34,4	30,7
TiO_2	0,8	0,05
Al_2O_3	15,0	16,2
Fe_2O_3	1,8	2,3
FeO	2,1	0,5
MnO	0,04	—
CaO	—	1,9
MgO	34,8	29,5
Na_2O	—	0,1
K_2O	—	0,3
H_2O^+	10,9	18,5

Die Analysen des Illits und des Corrensits sind, da durch Berechnung nach Abzug anderer Komponenten erhalten, keine absolut zuverlässigen Ergebnisse, zumal der H_2O^+-Gehalt der benutzten Vollanalysen nicht exakt genug ist. Sie weichen aber von der wahren Zusammensetzung dieser Minerale sicher kaum ab.

IX. Diskussion

1. Die Farbe der Gesteine. Zunächst soll mit den wenigen, aber charakteristischen Analysen der Gesamteisengehalt und das Verhältnis Fe_2O_3/FeO in Abhängigkeit vom Mineralbestand, der Farbe und der Herkunft einiger Proben betrachtet werden (Tabelle 17).

Tabelle 17. *Eisengehalt und Tonmineralbestand einiger Proben und Fraktionen*

Probe	Farbe	Tongehalt			Ges. Fe als Fe_2O_3	Fe_2O_3	FeO	Fe_2O_3/FeO
		Co	Ch	I				
E13A $< 2\mu\varnothing$	grau	50	5	35	4,7	3,2	1,4	2,3
M5E $< 2\mu\varnothing$	grau	35	15	40	5,2	3,9	1,2	3,3
E944M* $< 2\mu\varnothing$	dunkelgrau	50	10	40	6,8	3,9	2,6	1,5
Bi1aM* $< 2\mu\varnothing$	rotbraun	40	10	45	8,3	6,1	2,1	2,9
M1**	rotbraun	2	2	55	7,0	6,0	0,9	6,7
E6**	grün	6	6	70	6,1	5,3	0,7	7,6
M8E $< 2\mu\varnothing$	grün	5	5	85	6,9	5,7	1,1	5,2

* Bohrproben; ** karbonatfreier Rückstand.

Aus der Tabelle 17 kann folgendes entnommen werden:

a) Corrensitreiche Übertage- und Bohrproben bzw. Fraktionen haben ein niedrigeres Verhältnis Fe_2O_3/FeO als Proben, deren Haupttonkomponente der

Illit ist (Illit = dioktaedrisch; Corrensit = trioktaedrisch). Sie sind relativ an FeO angereichert.

b) Von den Fraktionen $< 2\,\mu\varnothing$ der Proben E13, M5 und E944, die etwa gleiche Farbe und gleichen Mineralbestand aufweisen, zeigt die Bohrprobe E944 ein niedrigeres Verhältnis Fe_2O_3/FeO als die beiden Tagesproben. Der Gehalt an 3wertigem Eisen ist ungefähr gleich. Beim FeO-Gehalt der Tagesproben ist auch im absoluten Wert ein Defizit festzustellen, so daß auch der Gesamteisengehalt diesen Unterschied widerspiegelt.

c) Das Verhältnis Fe_2O_3/FeO in den Bohrproben ändert sich mit der Farbe der Probe. Auch hier ist es wichtig, nur Proben oder Fraktionen mit ungefähr gleichem Mineralbestand zu vergleichen. Die rotbraune Bohrprobe *Bi1a* zeigt eine starke Fe_2O_3-Anreicherung gegenüber der dunkelgrauen Bohrprobe E944. Der FeO-Gehalt ist in beiden Proben etwa gleich.

d) Ganz anders ist es nun, wenn man, ausgehend von etwa gleichem Mineralbestand, Übertageproben verschiedener Farbe auf Menge und Verteilung ihres Eisengehaltes prüft. Es sind 3 Proben mit Illitvormacht. Hier ergibt sich trotz des Farbunterschiedes bei M1 (rotbraun, karbonatfreier Rückstand), E6 (grün, karbonatfreier Rückstand) und M8E $< 2\,\mu\varnothing$ (grün) ein etwa gleicher Gesamteisengehalt und ein Verhältnis Fe_2O_3/FeO, das den Farbunterschied nicht wiedergibt. Der nach unten abweichende Wert für dieses Verhältnis bei der Fraktion M8E $< 2\,\mu\varnothing$ erklärt sich dadurch, daß die weiter unten erwähnten Eisenoxydausscheidungen mehr in den gröberen Fraktionen angereichert sind.

Eine Analyse einer illitreichen (corrensit- und chloritarmen) Bohrprobe stand nicht zur Verfügung.

Aus diesen Beobachtungen muß man folgern, daß in den Übertageproben eine nachträgliche, wohl oberflächengebundene bzw. -beeinflußte Oxydation von Eisen stattgefunden haben muß.

Diese Feststellung wird gestützt durch die schon weiter oben beschriebene mikroskopische Beobachtung von zahlreichen braunroten, zum Teil scharfe Sechsecke bildenden Ausscheidungen von Eisenoxyd auf den Tonmineralen, Tonaggregaten und größeren Chloritblättchen der grünen, graugrünen und grauen Übertageproben, z. B. M8 und M6 und durch die Beobachtung, daß die Chloritblättchen der Bohrproben weitgehend frei von Eisenoxydausscheidungen, intensiver grün gefärbt, höher lichtbrechend, also eisenreicher sind.

Dieses Eisenoxyd hat wegen seiner relativen Grobkörnigkeit ($\sim 1\,\mu\varnothing$) keinen färbenden Einfluß auf die grauen und grünen Übertageproben.

Dagegen verdanken die roten und rotbraunen Proben ihre Farbe der Tatsache, daß der Hämatit hier in feinster Verteilung und Korngröße vorliegt[35].

Für die Herkunft oder die Bildungsbedingungen des Hämatits der roten und rotbraunen Proben gibt es verschiedene Möglichkeiten:

a) Die roten Schichten sind Abtragungsmaterial älterer roter Gesteine oder Sedimente[3].

b) Klimatisch bedingte Bildung von Eisenoxyd bei der Ablagerung.

Die Ablagerungsbedingungen (seichte, periodisch eindampfende Meeresbecken, Reliefschwankungen, erhöhte Temperatur usw.) schließen eine solche Entstehungsmöglichkeit nicht aus.

c) Ein Teil des Pigmentes kann aus Hydraten stammen, die in Lösung transportiert wurden und sich durch Dehydration in Hämatit umwandelten[40].

Ob die Farbe der grünen und graugrünen Schichten primär ist oder durch Reduktion aus rotem Material während oder nach der Ablagerung entstanden ist, kann nicht geklärt werden. Die Tatsache, daß der Gesamteisengehalt und die Verteilung auf Fe^{2+} und Fe^{3+} in den drei chemisch untersuchten illitreichen Tagesproben trotz des Farbunterschiedes annähernd gleich ist, braucht nicht die primäre Natur der grünen Farbe bestätigen. Durch Reduktionswirkung kann rotes Material entfärbt worden sein. Das dabei entstehende Fe^{2+} kann in die während der Diagenese entstehenden Minerale (Tonminerale) eingebaut, nachträglich durch Oberflächeneinwirkung oxydiert und als Eisenoxydkörner wieder ausgeschieden worden sein. Solche Ausscheidungen wurden beobachtet.

Das reduzierende Agens ist nicht bekannt. Der Mineralbestand in roten und grünen Schichten ist gleich. Ob die Entfärbung ganzer Schichten, parallel zur Schichtung, durch organische Substanz hervorgerufen werden konnte, ist fraglich (Tabelle 13).

Der oxydierende Einfluß von Schwefelkieskörnern war minimal. Der Schwefelgehalt einiger untersuchter Proben ist sehr niedrig (Tabelle 12).

Man kann nun aber noch fragen, ob organische Substanz eine farbgebende Rolle spielt. Dies trifft für die dunkelgrauen Proben vom Aufschluß bei Reckershausen und die dunkelgrauen Bohrproben zu, deren Farbe dem relativ hohen Kohlenstoffgehalt zugeschrieben werden kann (Tabelle 13).

Für die Grünfärbung wurden bisher oft Chloritblättchen verantwortlich gemacht. Aber in den hier untersuchten Proben kann nur der Illit farbgebend wirken. Denn in den feinsten Fraktionen — und bei der Farbgebung kommt es nur auf feinste Verteilung an — ist immer bedeutend mehr Illit als Chlorit und Corrensit vorhanden. Die in gröberen Fraktionen beobachteten Chlorit- und Muskovitblättchen sind nie so häufig wie die daneben vorliegenden illitreichen Aggregate. Bei illitreichen dunkelgrauen Proben wird die grüne Eigenfarbe dieses Minerals durch den Einfluß des Kohlenstoffs verdeckt.

Standardillite aus der Tonmineralsammlung des Göttinger Mineralogischen Instituts (z. B. Illit von Morris und Illit von Fithian) zeigen ähnliche grüne bis schmutziggrüne Farben wie die hier untersuchten illitreichen Mergel und ihre karbonatfreien Rückstände.

Die Proben, die neben Illit auch viel Corrensit (E13, M5, auch M6 und M9) und Chlorit (R8, R30) enthalten, sind immer hellgrau, eventuell auch graugrün gefärbt, auch in den feinen, karbonatfreien Fraktionen, so daß man diese Farbtönung dem Corrensit bzw. dem Chlorit zuschreiben kann.

2. Der idiomorphe, authigene Quarz. Für die genetische Deutung des idiomorphen Quarzes ist die Tatsache sehr wichtig, daß er Anhydriteinschlüsse besitzt, d. h. nur in solchen Proben auftritt, die ursprünglich Gips oder Anhydrit enthielten und heute in tonig-weicher Ausbildung vorliegen. Zur Zeit der Quarzbildung lag, wie die Einschlüsse zeigen, das Calciumsulfat als Anhydrit vor. Der Quarz ist, da er keine anderen Einschlüsse, z. B. von Karbonat oder Tonmineralen aufweist, im Anhydrit oder in anhydritreichen Partien gewachsen.

Das Auftreten von idiomorphen Quarzen in Gips oder Anhydrit ist allgemein bekannt und z. B. von Dreizler[12] im Zechsteingips von Hundelshausen (Blatt

Allendorf) (idiomorpher Quarz mit Anhydriteinschlüssen) und von SCHMITZ[41] im unteren Gipskeuper bei Kulmbach beschrieben worden. Merkwürdigerweise fand SCHMITZ, obwohl er Bildung im Sediment und im Gips annimmt, in dem diese Quarze schwimmen, nur Limonit- und Glimmereinschlüsse.

Die Herkunft der Kieselsäure (für den Quarz) braucht nicht mit der Anwesenheit von Gips oder Anhydrit zusammenzuhängen, wohl aber ihre Abscheidung. Ausschlaggebend ist das p_H der Porenlösung. Im karbonatischen Milieu wird wegen des schwach alkalischen p_H mit höherer SiO_2-Löslichkeit zu rechnen sein als in gips- oder anhydritreichen Partien, wo ein niedrigeres p_H zu erwarten ist. Laborversuche ergaben bei fein gepulvertem Calcit (4 g auf 300 ml Wasser) nach 6tägigem Schütteln bei Zimmertemperatur ein p_H von 8,7, bei Anhydrit unter den gleichen Bedingungen p_H 6,7 und bei einer ebenso erhaltenen Gipslösung p_H 6,3. Der p_H-bedingte Unterschied der Löslichkeit von SiO_2 ist zwar nach den neuesten Versuchen von CORRENS und RICKE (1959) (persönliche Mitteilung) in diesem Bereich nicht groß, könnte aber unter Umständen genügen, eine Lösung, die von karbonatreichen Partien in calciumsulfatreiche Schichten wandert, infolge der p_H-Änderung schwach an SiO_2 zu übersättigen. Es wird Kieselsäure abgeschieden. So erklärt sich die Tatsache, daß die idiomorphen Quarze nur in ehemals calciumsulfatreichen Proben gefunden wurden. Auch CORRENS[10] nimmt eine Bildung aus schwach übersättigten echten Lösungen an.

Dieser Vorgang der Quarzbildung braucht sich nun nicht unbedingt da abgespielt zu haben, wo heute der Quarz gefunden wird. Man könnte nämlich auch annehmen, daß das Calciumsulfat nicht im untersuchten Sediment entstanden ist, sondern eingeschwemmt wurde. Die ursprünglich schon vorhandenen Quarze hätten wegen der Verpackung durch Anhydrit oder Gips den Transport unversehrt überstehen können und wären dann durch die Auslaugung des Sulfats freigelegt worden. Da in den Proben, in denen idiomorpher Quarz gefunden wurde, heute kein freies Calciumsulfat mehr vorhanden ist, kann nichts über dessen Form und Ausbildung gesagt werden.

Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß das Calciumsulfat durch verstärktes Eindampfen des Meerwassers ausgeschieden wurde (s. weiter unten) und der Quarz sich in den hier untersuchten Sedimenten gebildet hat, also authigen ist.

3. Das Magnesium und die Diagenese. Das Magnesium ist eines der häufigsten Elemente in allen untersuchten Bohr- und Übertageproben (s. chemische Analysen und Zusammensetzung der Minerale). Neben den sehr magnesiumreichen Tonmineralen Corrensit (~30 Gew.-% MgO) und Chlorit (~30 Gew.-% MgO) sind in fast allen Proben erhebliche Mengen von Dolomit (~22 Gew.-% MgO) vorhanden. Auch der Illit, der bis 50% der Gesamtprobe ausmacht, hat nach der chemischen Analyse einen deutlichen MgO-Gehalt (~5 Gew.-%).

Die Tatsache, daß in den tonig-weichen Proben Anhydrit als Einschluß im idiomorphen Quarz vorkommt, weist darauf hin, daß diese Schichten in abgeschnürten Becken zur Ablagerung kamen, deren Wasserinhalt schon soweit eingedampft war, daß in der Salzausscheidungsfolge (BORCHERT[4], JÄNECKE[24]) mindestens die Stufe der Gipsausscheidung erreicht war. Das Fehlen von Gipseinschlüssen im authigenen Quarz zeigt, daß, falls das Calciumsulfat primär als Gips abgeschieden wurde, die diagenetische Umwandlung in den Anhydrit noch vor Beginn des diagenetischen Quarzwachstums vor sich gegangen sein muß.

Wenn aber die Eindampfung der Beckenfüllung periodisch so weit ging, daß es zur Calciumsulfatabscheidung kam, dann muß auch mit einer vorausgehenden bzw. gleichzeitigen Karbonatfällung gemäß der theoretischen Ausscheidungsfolge beim Eindampfen von Meerwasser[4, 24] gerechnet werden. So kann zumindest das Karbonat der ehemals anhydrithaltigen Lagen als anorganisch gefällt angesehen werden, mit großer Wahrscheinlichkeit auch das Karbonat der anderen, festen und anhydritfreien Mergel.

Die gleichmäßige Korngröße, die Rhomboederform und der zum Teil vorhandene Zonarbau der Dolomitkörner in den mikroskopisch untersuchten tonigweichen Proben sind aber nicht unbedingt ein Beweis für die primäre Natur des Karbonats als Dolomit.

In einer Probe, E46, konnte im Dünnschliff neben dem gleichmäßig gekörnten Dolomit der Grundmasse auch detritisches Karbonat beobachtet werden, und zwar in Form von stark gerundeten größeren Geröllen.

Wir haben es also im Bereich der bunten dolomitischen Mergel und tonigweichen Zwischenlagen mit mehreren, unvollständigen Eindampfungsperioden zu tun, die in den meisten Fällen nur das Stadium der Karbonatabscheidung, in anderen Schichten auch die Gips- oder Anhydritstufe erreicht haben.

Es spricht vieles dafür, daß nur die heute tonig-weich vorliegenden Schichten anhydrit- oder gipshaltig waren (Ausnahme M5) und erst bei dem durch Atmosphärilien bedingten Weglösen des Sulfats gelockert und weich wurden. Dabei wird das Karbonat (Dolomit) relativ angereichert. Außerdem wird die Bildung von Calcit ermöglicht (s. weiter unten).

Wenn man annimmt, daß Chlorit und Corrensit und vielleicht auch der Dolomit diagenetisch durch Neu- oder Umbildung im Sediment entstanden sind, erhebt sich die Frage, woher das für diese Prozesse benötigte Magnesium stammt oder herzuleiten ist.

Wenn man vom Meerwasser ausgeht, das etwa 0,128% Mg^{++} enthält, und dieses eindampft, ändert sich die Mg-Konzentration vom Anfang bis zum Ende der Gipsausscheidung von ~2 bis ~16 g Mg im Liter. Bei einem angenommenen Porenvolumen von 50% im frisch abgelagerten Sediment stehen im Kubikmeter des unverfestigten Sediments aus der Porenlösung 1000—8000 g Mg zur Verfügung.

Die magnesiumärmsten untersuchten Proben enthalten, wenn man ein gleiches Porenvolumen von 50% bei der Ablagerung annimmt, pro Kubikmeter mindestens 15 kg Mg in Minerale eingebaut. Das ist das 2—15fache des Angebotes aus der Porenlösung.

Es sieht so aus, als ob ein unüberbrückbares Defizit an Magnesium vorhanden wäre, besonders da viele Proben durch höheren Dolomitgehalt und größeren Chlorit- und Corrensitreichtum noch magnesiumreicher sind und außerdem in vielen Proben durch das Fehlen von Anhydrit oder Gips die Konzentration der Beckenfüllung nur die untere Grenze des obigen Beispiels erreicht.

Man muß aber auf der anderen Seite berücksichtigen, daß das Porenvolumen während und kurz nach der Ablagerung in Wirklichkeit größer gewesen sein kann (bei unverfestigten Kalken bis 80% [15], bei tonigen Sedimenten je nach Tongehalt 50–90%[8, 15]), so daß das Mg-Angebot aus der Porenlösung größer und gleichzeitig die Menge des festen Sedimentmaterials im Kubikmeter kleiner sein wird.

Ferner war für die Zeit der intensiven diagenetischen Prozesse in vielen Proben noch eine unbekannte Menge Gips bzw. Anhydrit vorhanden, die den relativen Anteil an Tonsubstanz entsprechend heruntersetzt.

Außerdem muß berücksichtigt werden, daß nicht nur der Mg-Vorrat einer einzigen Porenfüllung zur Verfügung stand, sondern daß, solange die Porenlösung mit der Beckenfüllung in Verbindung stand, bei einem auftretenden Konzentrationsgefälle dauernd Magnesium nachdiffundieren konnte.

Die Diffusionsgeschwindigkeit von Mg-Ionen oder $MgSO_4$-Molekülen ist vom Konzentrationsgefälle und von spezifischen Eigenschaften des Sediments abhängig (z. B. Größe und Gestalt des Porenraumes) und kann deshalb hier nur ungenau angegeben werden. Sie wird in der Größenordnung von maximal 1 cm pro Jahr liegen[20].

Schließlich sollte ebenfalls noch beachtet werden, daß das detritische feinste Tonmaterial, aus dem sich Chlorit und Corrensit gebildet haben können, ursprünglich schon einen gewissen Mg-Gehalt besessen hat.

Man kann also die zur diagenetischen Neu- oder Umbildung der Tonminerale benötigte Mg-Menge aus der Porenlösung und dem durch Eindampfen konzentrierten Meerwasser herleiten.

FÜCHTBAUER u. GOLDSCHMIDT[18] bezeichnen die thermische Stabilität des Chlorits im Zechstein (s. auch Tabelle 2) als Beweis für eine echte diagenetische Neubildung und bezweifeln eine Entstehung durch Einlagerung von Brucitschichten in ursprünglich vorhandenen Montmorillonit. Die Chloritbildung in den Salztonen wird nach ihrer Ansicht über die Lösung erfolgen, wobei stark abgebaute Tonmineralsubstanz das Ausgangsmaterial war.

Theoretisch könnte auch der Dolomit als Mg-Lieferant bei der Umbildung oder Neubildung der Tonminerale angesehen werden. Da aber seine primäre Natur und folglich seine Anwesenheit schon während der Diagenese der Tonminerale nicht bewiesen werden kann, mikroskopisch nie Körner mit Auflösungserscheinungen beobachtet wurden und röntgenographisch in allen harten Mergeln kein Calcit festgestellt werden konnte, ist diese Möglichkeit nicht wahrscheinlich.

Der in den meisten tonig-weichen Mergeln neben Dolomit vorhandene Calcit ist zum Teil eine jüngere Bildung, denn er schließt Dolomitkörner und toniges Material ein und ist oft idiomorph ausgebildet. Er tritt aber nur in solchen Proben auf, von denen man mit ziemlicher Sicherheit behaupten kann, daß sie früher Anhydrit oder Gips enthielten. Der eingeschlossene Dolomit zeigt keine Lösungserscheinungen und entspricht auch in der Korngröße und Kornform dem freien Dolomit. Das Calcium des Calcits muß wohl am ehesten aus dem Calciumsulfat hergeleitet werden, da bei dessen Auflösung die Porenlösung stark an Ca-Ionen konzentriert wurde.

Als weitere Folge der durch diesen Vorgang auch an Sulfat-Ionen angereicherten Porenlösung ist das in mehreren Proben festgestellte Auftreten von Baryt anzusehen.

Zusammenfassung

27 Proben (Mergel mit Dolomit als Karbonatkomponente, tonig-weiche Mergel mit Dolomit und Calcit) des Steinmergelkeupers und der Roten Wand aus Übertageaufschlüssen 15 km südlich von Göttingen (Marzhausen, Reckershausen,

Elkershausen, Friedland) und aus Bohrungen in Nordwestdeutschland (Bielefeld, Eddesse, Sterup-Steinfeld) wurden quantitativ auf Mineralbestand und Korngrößenverteilung untersucht. Einige weitere Proben aus dem Stadtgebiet und der nördlichen Umgebung Göttingens wurden qualitativ bearbeitet.

Zur Entfernung des Karbonats wurden 4 molare Essigsäure, 4%ige Monochloressigsäure, 0,5 normale Salzsäure und der Kationenaustauscher Amberlite IRC 50 verwendet. In Parallelversuchen wurde der Einfluß dieser Reagenzien auf den Mineralbestand jeweils der gleichen Probe geprüft und keine erkennbare Änderung festgestellt.

Die tonig-weichen Proben wurden nur mit 0,01 n Ammoniak behandelt und aufbereitet.

Die untersuchten Gesteine variieren nach ihrem Karbonatgehalt zwischen mergeligem Ton und Mergel (6—70% Karbonat). Eine Abhängigkeit des Karbonatgehaltes von der Farbe oder Zusammenhänge innerhalb der Profile sind nicht zu erkennen. Das Karbonat ist in den meisten Proben nur Dolomit. Calcit neben Dolomit tritt nur in den tonig-weichen Proben auf.

Der Mineralbestand der im Atterberg- und Siebverfahren abgetrennten Korngrößenklassen wurde mikroskopisch und röntgenographisch ermittelt. Aggregate sind in den groben Fraktionen vieler Proben sehr zahlreich. Ihr Mineralbestand wurde röntgenographisch bestimmt und brachte keine neuen Mineralkomponenten.

Haupttonkomponente der meisten Proben ist dioktaedrischer Illit (bis 50% der Gesamtprobe, bis 70% des karbonatfreien Rückstandes). Chlorit (~Klinochlor) ist, meist in geringen Mengen, ebenfalls immer vorhanden (bis 15%), in vielen Proben auch Corrensit (bis 20% der Gesamtproben, bis 30% des karbonatfreien Rückstandes). Der Quarzgehalt schwankt von 5—35% in den Gesamtproben bzw. bis 45% im Rückstand. In den tonig-weichen Proben ist idiomorpher Quarz mit Anhydriteinschlüssen nicht selten. Der Plagioklasgehalt liegt um 5% in den Gesamtproben bzw. 5—20% im Rückstand. In einer Probe kommt reichlich idiomorpher Albit vor. Orthoklas, Zirkon und Turmalin sind selten. Baryt ist in 3 Proben vorhanden. Die Rotfärbung vieler Proben wird durch feinst verteilten Hämatit verursacht. Für die dunkelgraue Farbe ist der Kohlenstoffgehalt, für die grünliche Farbe vieler Proben der Illit verantwortlich. Chlorit- und corrensitreiche Proben sind hellgrau gefärbt.

Der Mineralbestand der fünf untersuchten Bohrproben weicht nicht vom Durchschnitt der Übertageproben ab. Bei den Übertageproben konnte als einziger Unterschied eine sekundäre Oxydation von Eisen festgestellt werden: Viele Chloritblättchen sind, im Gegensatz zu solchen der Bohrproben, gebleicht und voller Eisenoxydausscheidungen.

Die chemische Analyse von 5 Gesamtproben und 6 Fraktionen $< 2\,\mu\varnothing$ erlaubte die Berechnung der ungefähren chemischen Zusammensetzung des Illits und des Corrensits. Der hohe Magnesiumgehalt der Proben ist an den Dolomit und die neugebildeten Tonminerale (Chlorit und Corrensit) gebunden.

Das zur diagenetischen Neu- oder Umbildung dieser Minerale benötigte Magnesium kann aus der Porenlösung bzw. der zur Zeit der Ablagerung durch periodisches Eindampfen konzentrierten Beckenfüllung hergeleitet werden.

Zum Schluß danke ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. C. W. Correns sehr für die Überlassung dieser Arbeit und sein förderndes Interesse während ihrer Entstehung.

Ebenso danke ich Frau Dr. P. Schneiderhöhn, Herrn Priv.-Doz. Dr. O. Braitsch und Herrn Dr. F. Lippmann für wertvolle Ratschläge und Hinweise sowie vielen anderen für anregende Diskussionen.

Literatur

[1] Beckmann, H.: Zur Anwendung von Essigsäure in der Mikropaläontologie. Paläont. Jb. **26** (1952).

[2] Beckmann, H.: In H. Freund, Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. 2, Teil 3, S. 150. Frankfurt: Umschauverlag 1958.

[3] Bonte, A., et P. Celet: Sur la signification des sediments rouges et verts du Trias du Jura francais. Geol. Rdsch. **43**, 342—350 (1955).

[4] Borchert, H.: Die Salzlagerstätten des deutschen Zechsteins, ein Beitrag zur Entstehung ozeaner Salzablagerungen. Arch. Lagerstättenforsch. **67** (1940).

[5] Bradley, W. F., and C. E. Weaver: A regulary interstratified chlorite-vermiculite clay mineral. Amer. Mineralogist **41**, 497—504 (1956).

[6] Brindley, G. W.: X-ray identification and crystal structure of clay minerals. London: The Mineralogical Society 1951.

[7] Brindley, G. W., and F. H. Gillery: X-ray identification of chlorite species. Amer. Mineralogist **41**, 169—186 (1956).

[8] Correns, C. W., in: Die Sedimente des äquatorialen Atlantischen Ozeans. Meteor-Expedition, Bd. 3, Teil 3. 1937.

[9] Correns, C. W.: Einführung in die Mineralogie. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1949.

[10] Correns, C. W.: Zur Geochemie der Diagenese. Geochim. et Cosmochim. Acta **1**, 49—54 (1950).

[11] Correns, C. W., u. W. Schott: Vergleichende Untersuchungen über Schlämm- und Aufbereitungsverfahren von Tonen. Kolloid-Z. **61**, 68—80 (1932).

[12] Dreizler, I.: Unveröffentlicht.

[13] Earley, J. W., G. W. Brindley, W. J. McVeagh and C. R. van den Heuvel: A regulary interstratified montmorillonite-chlorite. Amer. Mineralogist **41**, 258—267 (1956).

[14] Eckhardt, F. J.: Über Chlorite in Sedimenten. Geol. Jb. **75**, 437—474 (1958).

[15] Engelhardt, W. v.: Der Porenraum der Sedimente — Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen, Bd. 2. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1960.

[16] Füchtbauer, H.: Die nichtkarbonatischen Bestandteile des Göttinger Muschelkalkes mit besonderer Berücksichtigung der Mineralneubildungen. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **2**, 235—254 (1950).

[17] Füchtbauer, H.: Zur Entstehung und Optik authigener Feldspäte. Neues Jb. Mineral. Geol. Paläont., Mh., 9—23 (1956).

[18] Füchtbauer, H., u. H. Goldschmidt: Die Tonminerale der Zechsteinformation. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **6**, 320—345 (1959).

[19] Grim, R. E., R. H. Bray and W. F. Bradley: The mica in argillaceous sediments. Amer. Mineralogist **22**, 813—829 (1937).

[20] Hagerman, T. H.: Saltvandring i bergarter. Tekn. Tidskr. H. 13 (1956).

[21] Harder, H.: Beitrag zur Geochemie des Bors. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen Nr 6 (1959).

[22] Hendricks, St. B., and C. S. Ross: Chemical composition and genesis of glauconite and celadonite. Amer. Mineralogist **26**, 683—708 (1941).

[23] Honeyborne, D. B.: The clay minerals in the Keuper Marl. Clay Minerals Bull. **1**, 150—155 (1951).

[24] Jänecke, E.: Eine graphische Darstellung der Gewichtsverhältnisse bei den ozeanischen Salzablagerungen. Kali **6**, 255 (1912).

[25] Jasmund, K.: Die silicatischen Tonminerale. Weinheim: Verlag Chemie 1955.

[26] Jasmund, K.: In P. Schneiderhöhn, Exkursionsführer in die Umgebung von Göttingen. IV. Int. Sedimentologen-Tagg, Göttingen 1954.

[27] Johns, W. D., R. E. Grim and W. F. Bradley: Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. J. Sediment. Petrol. **24**, 242—251 (1954).

[28] Koenen, A. v.: Geol. Blatt Reinhausen, herausgeg. v. d. Kgl. Preuß. Geolog. Landesanstalt 1893, Liefg 62.

[29] Kumm, A.: Das Mesozoikum in Niedersachsen (Trias und Lias). Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, Bd. 2, 1941.
[30] Lippmann, F.: Die Methoden der Korngrößenanalysen von Ziegeltonen und die Darstellung ihrer Ergebnisse. Ziegelindustrie. H. 2 (1953).
[31] Lippmann, F.: Über einen Keuperton von Zaisersweiher bei Maulbronn. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 130—134 (1954).
[32] Lippmann, F.: Anwendungsmöglichkeiten der Guinier-Kamera nach v. Wolff bei der röntgenographischen Tonuntersuchung. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 251—254 (1954).
[33] Lippmann, F.: Clay minerals from the Röt member of the Triassic near Göttingen, Germany. J. Sediment. Petrol. **26**, 125—139 (1956).
[34] Lloyd, R. M.: A technique for separating clay minerals from limestones. J. Sediment. Petrol. **24**, 218 (1954).
[35] McCarthy, G. R.: Colors produced by iron in minerals and the sediments. Amer. J. Sci., Ser. V **11/12**, 17—36 (1926).
[36] Niemann, H.: Untersuchungen am Grauen Salzton der Grube „Königshall-Hindenburg", Reyershausen bei Göttingen. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **7**, 137—165 (1960).
[37] Ray, S., H. R. Gault and Ch. G. Dodd: The separation of clay minerals from carbonate rocks. Amer. Mineralogist **42**, 681—686 (1957).
[38] Ricke, W.: Beitrag zur Geochemie des Schwefels. Diss. Göttingen 1960 (im Druck).
[39] Samuelson, O.: Ion exchangers in analytical chemistry. New York: Wiley & Sons, Stockholm: Almquist & Wiksell 1953.
[40] Schellmann, W.: Experimentelle Untersuchungen über die sedimentäre Bildung von Goethit und Hämatit. Chem. d. Erde **20**, 104—135 (1959).
[41] Schmitz, H. H.: Über die mineralogische Zusammensetzung des unteren Gipskeupers, nach einem Bohrprofil. Geol. Jb. **77**, 59—94 (1959).
[42] Schwarzenbach, G.: Die komplexometrische Titration. Stuttgart: Ferdinand Enke 1957.
[43] Shapiro, L., and W. W. Brannock: Rapid analysis of silicate rocks. Geological Survey Bull. 1036—C, revised from Circular 165, US Government Printing Office, Washington 1956.
[44] Tornquist, A.: Der Gypskeuper in der Umgebung von Göttingen. Diss. Göttingen 1892.
[45] Tröger, W. E.: Tabellen zur optischen Bestimmung gesteinsbildender Minerale, 2. Aufl. Stuttgart 1956.
[46] Weaver, C. E.: Geologic interpretation of argillaceous sediments. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geologists **42**, 254—271 (1958).
[47] Wolff, T. v.: Beschreibung einer leicht justierbaren Guinier-Kamera für alle Winkelbereiche. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 243—250 (1954).
[48] Yoder, H. S., and H. P. Eugster: Synthetic and natural Muscovites. Geochim. et Cosmochim. Acta **8**, 225—280 (1955).

Dr. Wolfram Echle
Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Göttingen, Lotzestr. 16/18

Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg

Lebenslauf

Ich, Wolfram Wilhelm Valentin Echle, wurde am 4. 10. 1933 als 1. Kind des Oberlehrers Wilhelm Echle und seiner Ehefrau Aloisia, geborene Wunsch, in Karlsruhe geboren. Bis zum Jahre 1948 wohnte ich mit meinen Eltern in Michelbach, Kreis Rastatt/Baden, von 1948 - 1950 in Leiberstung, Kreis Bühl / Baden und seit 1950 in Gaggenau/Baden.

Von 1940 - 1944 besuchte ich die Volksschule in Michelbach, von 1944 - 1947 die Realschule in Gaggenau, von 1947 - 1950 die altsprachliche Abteilung der Heimschule Lender in Sasbach bei Achern / Baden und ab 1950 das Ludwig-Wilhelm - Gymnasium in Rastatt, wo ich am 11. 3. 1953 die Reifeprüfung ablegte.

Am 3. 11. 1953 bezog ich die Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg und schrieb mich für das Fach Mineralogie ein. Seit dem Sommersemester 1955 setzte ich mein Studium an der Georg-August-Universität in Göttingen fort. Am 2. 5. 1956 bestand ich das Zwischenexamen für Mineralogie.

Seit Ende des Jahres 1957 habe ich an meiner Dissertation über die mineralogische Zusammensetzung von Sedimenten des mittleren Keupers aus der Umgebung von Göttingen gearbeitet.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren Dr. Ackermann, Dr. Bederke, Dr. Brauer, Dr. Correns, Dr. Gentner, Dr. Glemser, Dr. Jasmund, Dr. Illies, Dr. Koritnig, Dr. Lüttringhaus, Dr. Mehnert, Dr. Pfannenstiel, Dr. Schneiderhöhn, Dr. Schott, Dr. Zemann sowie die Herren Privatdozenten Dr. Rein, Dr. Wedepohl und Dr. Wimmenauer.

Wolfram Echle